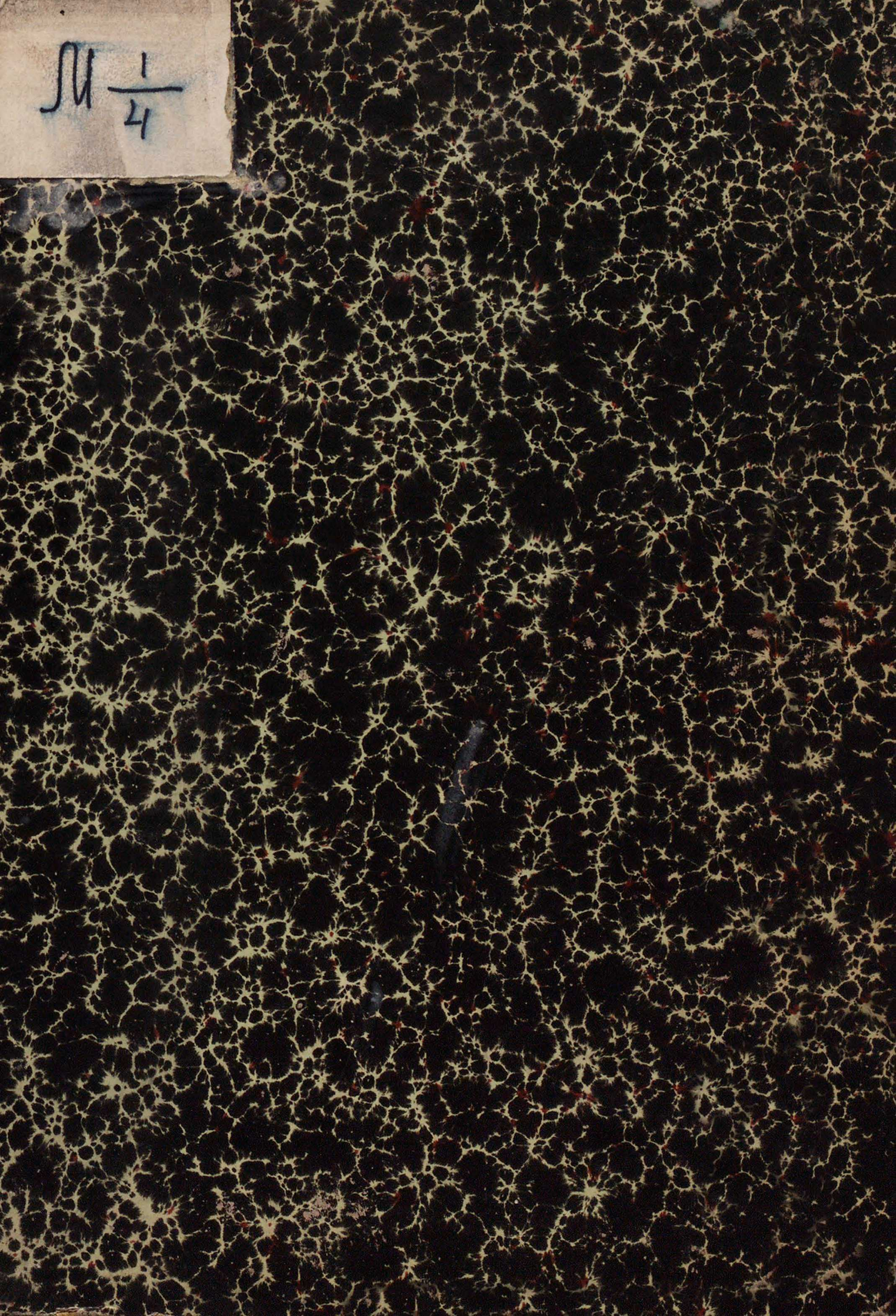
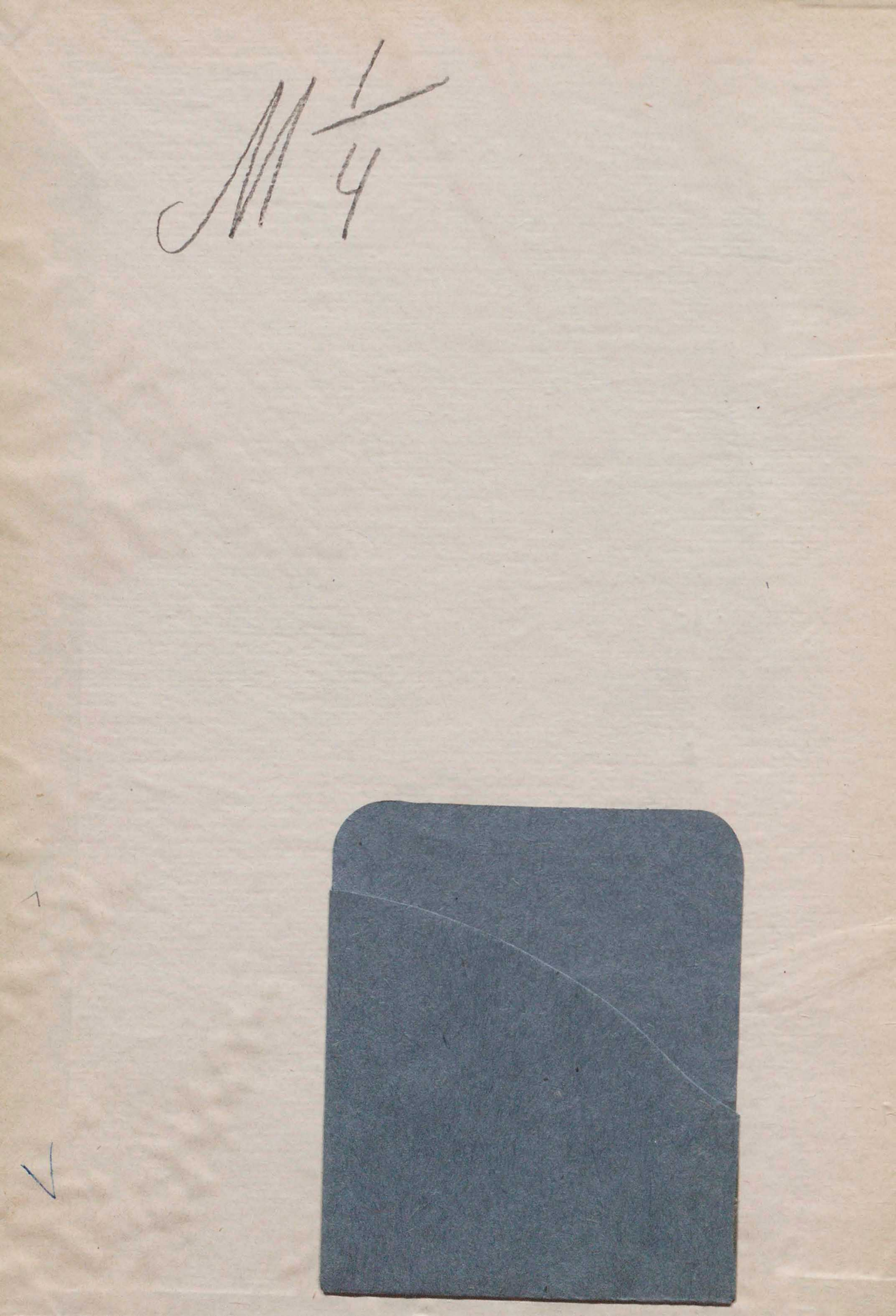
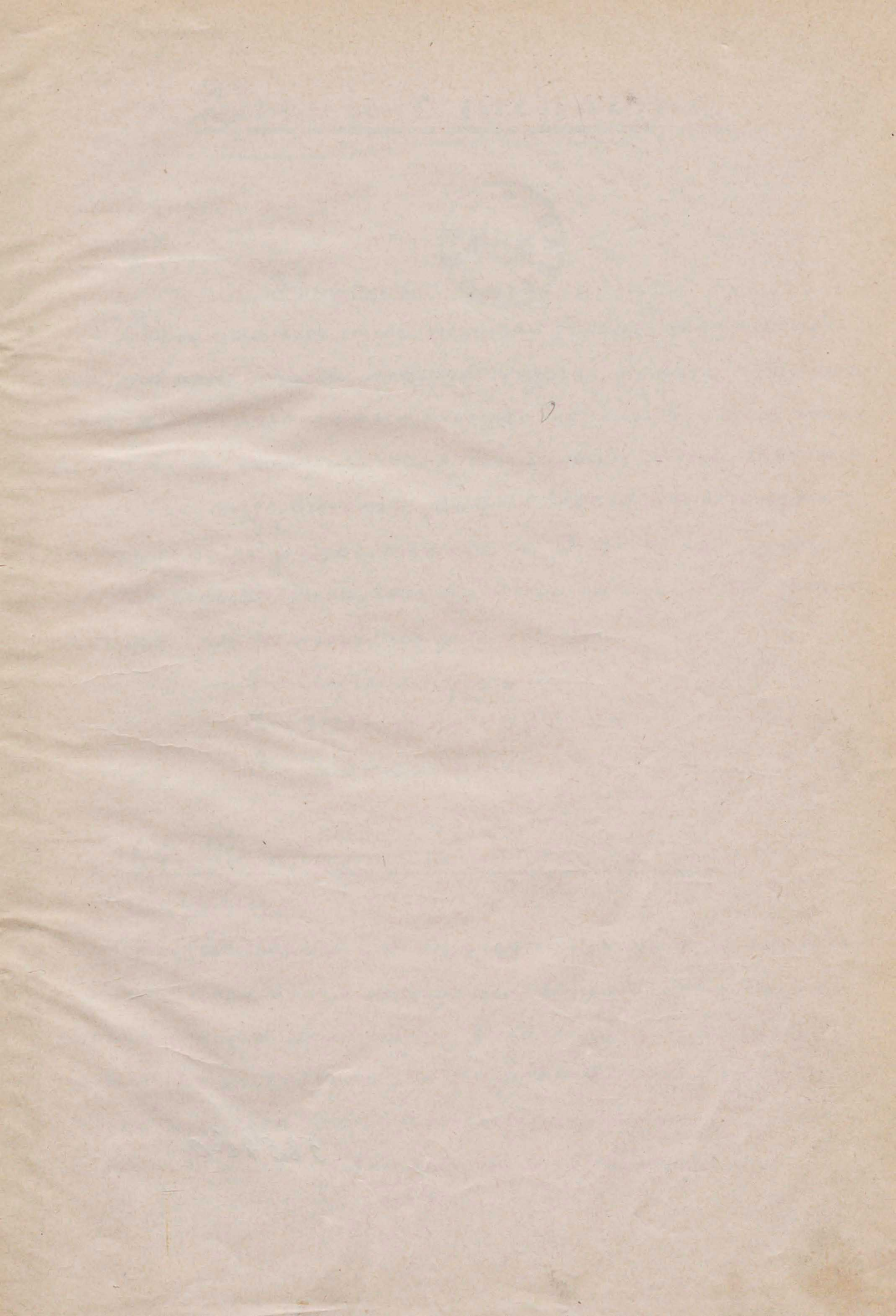



M 1/4




2011111429

Ученіе о теплотѣ

Введеніе

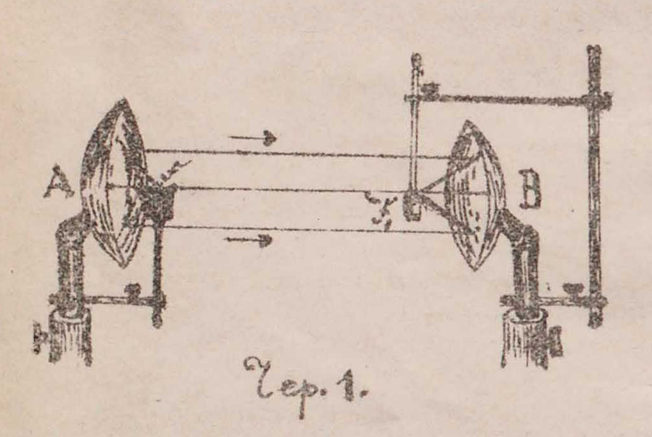
Если помѣстимъ теплое тѣло около холоднаго, то при этомъ температура перваго понижается, а второго повышается до тѣхъ поръ, пока оба тѣла получатъ одинаковую температуру, что называютъ равновѣсіемъ температуръ. Существуютъ 3 способа распространенія теплоты отъ болѣе нагрѣтаго тѣла къ менѣе нагрѣтому:

1 Лучеиспусканіе
2 Теплопроводность
3 Конвекція

§1 Распространеніе теплоты лучами.

Непосредственнымъ ощущеніемъ организма мы испытываемъ теплоту, исходящую отъ нагрѣтыхъ тѣлъ, при чемъ среда, окружающая тѣло, т. е. воздухъ, не нагрѣвается. Лучи, испускаемые нагрѣтыми тѣлами бы-

-вляютъ свѣтлые и темные, такъ напр. свѣча испускаетъ свѣтлые лучи, а кубъ съ горячей водой — темные. Съ пониженіемъ температуры тѣла лучеиспусканіе уменьшается и, наконецъ, повидимому совсѣмъ уничтожается; но есть основаніе предполагать, что лучеиспусканіе не прекращается не только въ этомъ случаѣ, но и тогда, когда испытываемое тѣло холоднѣе другихъ. <u>Пикте</u> показалъ это опытомъ. Онъ бралъ два вогнутыхъ зеркала; въ фокусъ F одного изъ нихъ онъ помѣщалъ раскаленные угольки, а въ фокусъ F_1 другого — термометръ. Фокусы F и F_1 такія точки, что всякій лучъ, выходящій изъ нихъ, отразившись пойдетъ параллельно оптической оси и, обратно всѣ лучи параллельные оси, отразившись соберутся въ фокусъ (черт. 1.). Если отъ углей въ F идутъ лучи теплоты, то отразившись отъ зеркала A они пойдутъ параллельно оптической оси и, попавъ на зеркало B, отразятся отъ него и соберутся въ F_1 т. е. попадутъ на термометръ, который и покажетъ повышеніе температуры. Когда Пикте замѣнилъ угольки льдомъ, то температура по показаніямъ термометра понизилась.

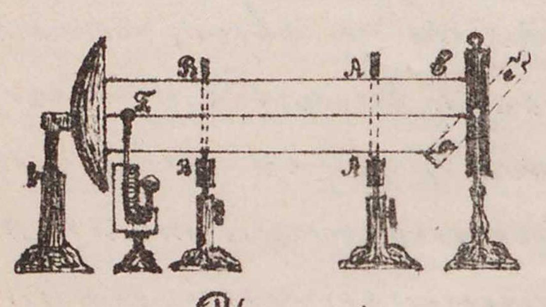


Чер. 1.

Гр. Э. Петрашевичъ

Разсмотрѣніе явленій этого рода привело Прево къ гипотезѣ о подвижномъ равновѣсіи теплоты, именно всѣ тѣла по его предположенію испускаютъ постоянно теплоту, но это лучеиспусканіе во многихъ случаяхъ не явно, потому что каждое тѣло, испуская столько тепла, сколько оно получаетъ отъ другихъ тѣлъ, пріобрѣтаетъ наконецъ постоянную температуру, одинаковую съ температурой окружающихъ тѣлъ. Законъ лучеиспусканія тѣлъ можно разсматривать съ двухъ точекъ: 1. лучеиспусканіе при одинаковыхъ поверхностяхъ, но при различныхъ температурахъ, и 2. лучеиспусканіе различныхъ поверхностей при одной и той же температурѣ. Перейдемъ къ законамъ лучеиспусканія. Здѣсь мы встрѣчаемъ полную аналогію съ закономъ напряженности свѣта, т.е. напряженность тепловыхъ лучей, какъ и свѣтовыхъ, пропорціональна Sinus'у угла между лучами и поверхностью. Лесли доказалъ это въ примѣненіи къ лучеиспусканію самымъ слѣдующимъ образомъ: передъ вогнутымъ металлическимъ зеркаломъ, онъ помѣстилъ металлическій сосудъ ac (черт. 2), наполненный

горячею водою, который можетъ быть перемѣщенъ вертикально или различнымъ образомъ наклоненъ; плоская поверхность его обращенная къ зеркалу покрыта сажей; Между зеркаломъ и черною поверхностью сосуда поставлены ширмы съ круговыми



Черт. 2.

прорѣзами AA и BB, которыхъ величина значительно меньше поверхности сосуда; въ фокусѣ F зеркала былъ помѣщенъ шарикъ разностнаго термометра. При различныхъ наклоненiяхъ сосуда ac термометръ въ фокусѣ зеркала показывалъ одинаковое нагрѣванiе, но такъ какъ поверхность, испускающая теплоту, представляя наклонное основанiе того же цилиндра лучей, болѣе прежняго основанiя ab въ отношенiи $1 : \sin \angle bca$, то напряженность испускаемыхъ лучей уменьшилась въ отношенiи $\sin \angle bca : 1$. Изъ этого видно, что для сравненiя лучеиспускательной способности различныхъ поверхностей при одной и той же температурѣ надо, чтобы лучи выходили изъ различныхъ поверхностей подъ однимъ и тѣмъ же угломъ.

Для сравненія лучеиспускательной способности тѣлъ Леслі бралъ кубъ, содержащій нагрѣтую воду, покрывалъ стороны его сажей, бумагой, тушью и проч., и располагалъ приборъ также какъ и предыдущій. Принимая лучеиспускательную способность сажи за 100, онъ опредѣлилъ лучеиспускательную способность слѣдующихъ тѣлъ:

Писчая бумага - - - - - - - - 98

Кронглась - - - - - - - - - - 90

Тушь - - - - - - - - - - - - - 88

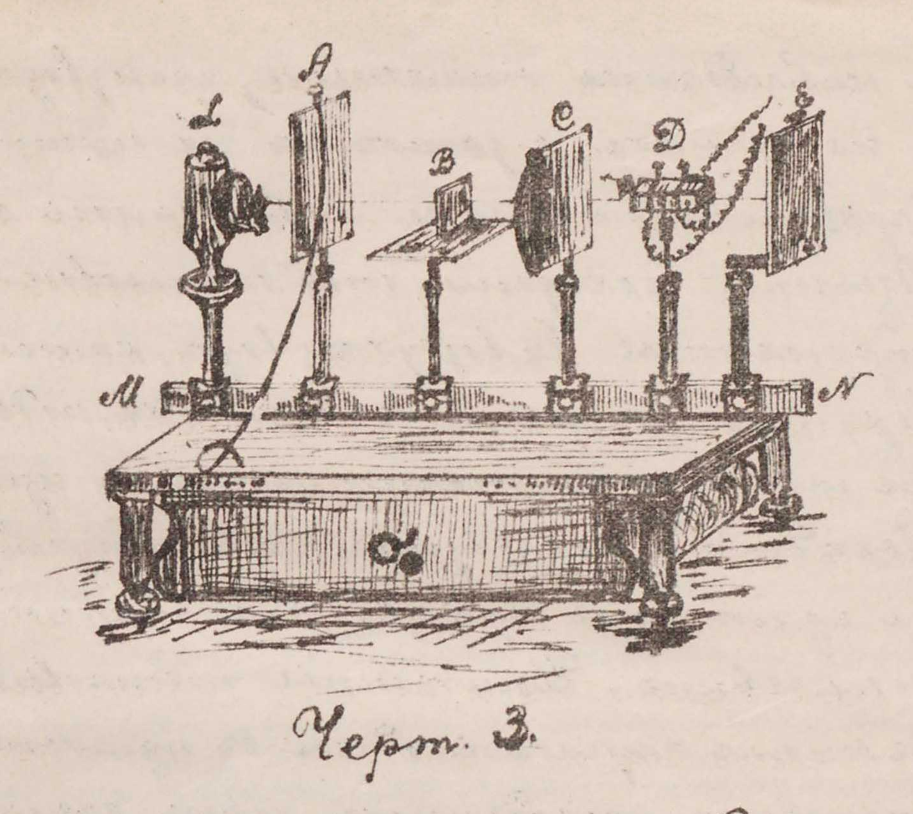
Полирован. серебро - - - - - - - 12

Провосте и Десенъ показали, что лучеиспускательная способность серебряной поверхности выражается числами 2,65 до 5,36. Вообще лучеиспускательная способность полированныхъ поверхностей слаба, но съ увеличеніемъ шероховатости поверхности она увеличивается. Меллони объяснилъ это измѣненіемъ плотности у поверхности. Толщина слоя не имѣетъ вліянія на лучеиспусканіе. Если покрывать поверхность металла лакомъ или клеемъ, то лучеиспусканіе увеличивается до тѣхъ поръ, пока толщина слоя не достигнетъ 0,02 — 0,05 m.m. Кноблаухъ показалъ, что лучеиспускательную способность

двухъ различныхъ поверхностей можно сдѣлать почти одинаковой. Онъ бралъ полированную и матовую мѣдныя пластинки и нагрѣвалъ ихъ до одинаковой температуры; отъ полированной пластинки получалось отклоненіе стрѣлки мультипликатора 29°, а отъ матовой 47°,8. Затѣмъ онъ покрывалъ ихъ гальванопластической мѣдью и получалъ отклоненія отъ первой 40°,3, а отъ второй 51°,5. Что же касается лучеиспусканія жидкостей, то Лесли показалъ, что вода и сажа одинаково лучеиспускаютъ, ртуть-же въ 5 разъ слабѣе. Относительно лучеиспусканія газовъ найдено, что оно увеличивается съ яркостью пламени.

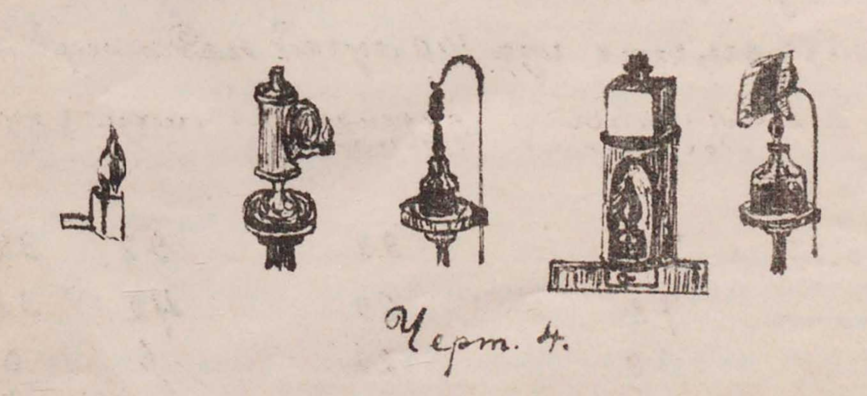
§2 Теплопрозрачность и теплоцвѣтность.

Изученіе различныхъ свойствъ тепловыхъ лучей сильно подвинулось, благодаря изслѣдованіямъ Меллони. Онъ воспользовался для этой цѣли слѣдующимъ приборомъ, который изображенъ на чертежѣ. Вдоль металлической линейки, раздѣленной на части, помѣщены источникъ теплоты L, термомультипликаторъ D и нѣсколько щитковъ A, C, E и еще одна подставка B для установки тѣлъ, подле-



Черт. 3.

жащихъ испытанію (см. черт. 3). Источниками теплоты были 1.) Масляная лампа Локателли безъ стекла и съ двойнымъ притокомъ воздуха; 2.) спиральная платиновая проволока, нагрѣваемая спиртовою лампочкою; 3.) вычерненная мѣдная пластинка, нагрѣваемая лампочкою до 400°; 4.) Кубъ, наполненный кипящею водою (100°). Всѣ эти источники изображены на черт. 4.



Черт. 4.

Сперва наблюдалось отклоненіе, производимое лучами источника, а затѣмъ на пути ставилась прозрачное тѣло и наблюдалось отклоненіе. Опыты показали, что тепловые лучи распространяются въ воздухѣ, водѣ, каменной соли и другихъ прозрачныхъ тѣлахъ, подвергаясь болѣе или менѣе значительнымъ измѣненіямъ, вслѣдствіе поглощенія части лучей; наименьшія измѣненія производятъ каменная соль и сильвинъ. Измѣненія тепловыхъ лучей въ этомъ случаѣ сходны съ измѣненіями свѣтовыхъ, проходящихъ черезъ различныя средины, поэтому и названо это явленіе теплоцвѣтностью или термохрозомъ. Меллони, принимая количество падающихъ на пластинку лучей за 100, нашелъ, что пластинки толщиною въ 2,6 ^{mm}, различныхъ веществъ пропускаютъ различное количество лучей отъ одного и того-же источника и пластинка одного и того-же вещества пропускаетъ различное количество лучей отъ различныхъ источниковъ. Опыты Меллони показали, что изъ 100 лучей падающихъ

отъ — — — — — —	лампы Локателли;	раскален. проволоки;	мѣди;	куба;
проходятъ черезъ:				
1. каменную соль — —	92.	92.	92.	92.
2. плавиковый шпатъ —	78.	69.	42.	33.
исландскій шпатъ	39.	28.	6.	0.

Отъ	Лампы Локателли	Раскален. проволока	мѣди	куба
проходятъ через:				
3., стекло	39	24	6	0
4., горный хрусталь прозр.	38	28	6	3
аметистъ	21	29	2	0
зеленый турмалинъ	18	16	3	0
лимонную кислоту	11	2	0	0
5., квасцы	9	2	0	0
6., прозрачный ледъ	6	0,5	0	0

Для изслѣдованія жидкостей употребляютъ ящички, составленные изъ пластинокъ каменной соли. Вода изъ падающихъ лучей пропускаетъ 11, а скипидаръ 31. Существуетъ много тѣлъ не прозрачныхъ для лучей свѣта, какъ напр: черное стекло, дымчатый кварцъ, роговой каучукъ, но пропускающіе теплоту, наконецъ есть тѣла не прозрачныя для свѣта и теплоты, напр: металлы.

Изъ приведенной таблицы видно, что не всѣ пластинки одинаково относятся къ тепловымъ лучамъ различныхъ источниковъ. Это объясняется двумя причинами:

1. Источники посылаютъ лучи не одинаковые по своимъ свойствамъ (различной теплоцвѣтности).

2. Сами пластинки обладаютъ различною избирательною способностью по отношенію къ

различнымъ лучамъ (т.е. различною теплоцвѣтностью). Въ самомъ дѣлѣ через пластинку гипса проходитъ изъ падающихъ лучей 14; если же лучи отъ локателлиевой лампы уже прошли через гипсъ, то изъ лучей, падающихъ на второй гипсъ проходитъ сквозь него 54.

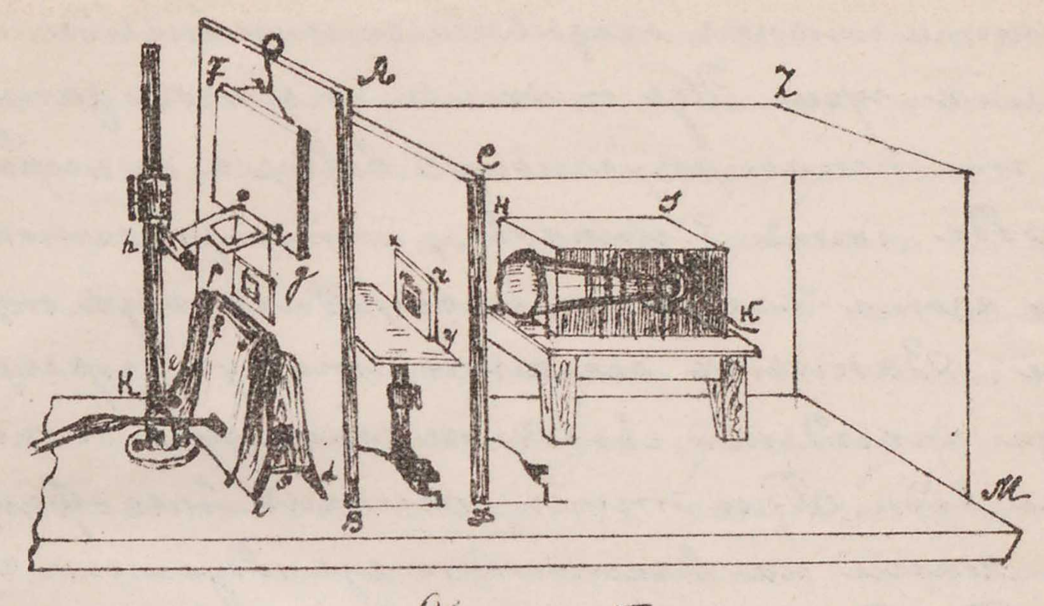
Въ слѣдующей таблицѣ Меллони много примѣровъ такого рода:

Тѣла находящіяся передъ термическ. столбик. толщиною 2,6 m.m	Непосредств. лучи лампы Локателли	Тѣла, через которыя прошли лучи до паденія на тѣла перваго столбца			
		Квасцы толщ. 2.6 m.m	Гипсъ 2.6 m.m	Зел. стекло 1.85 m.m	Черное стекло 1.85 m.m
Каменная соль	92	92	92	92	92
Исландскій шпатъ	39	91	89	59	55
Стекло 1/2 m.m толщ.	54	90	85	87	80
Горный хрусталь	38	91	85	78	54.
черн. слюда 0,9 mm	20	4,4	12	38	43
Зеленый турмалинъ	18	1	10	24	30
Кристал. гипсъ	14	59	54	9	15
Квасцы	9	90	47	0.5	0,3

Отсюда мы видимъ, что, напр. квасцы весьма теплопрозрачны для лучей, прошедшихъ сквозь пластинку квасцовъ. Изъ этого мы заключаемъ, что лучи ламповаго пламени, пройдя через пластинку квасцовъ, получаютъ опредѣленную теплоцвѣтность, и могутъ проходить въ большемъ количествѣ через вторую

пластинку квасцовъ, потому что она имѣетъ такую же теплоцвѣтность, какъ падающіе на нее лучи. Это явленіе аналогично съ пропусканіемъ красныхъ свѣтовыхъ лучей черезъ красную среду. Изъ приведенной таблицы видно, что каменная соль пропускаетъ 92% падающихъ на нее лучей, будутъ-ли они исходить прямо изъ источника или же будутъ измѣнены прохожденіемъ черезъ другія тѣла. Отсюда было выведено заключеніе, что каменная соль не имѣетъ опредѣленной теплоцвѣтности, и она тѣло вполнѣ теплопрозрачное, но эту теплопрозрачность каменной соли надо ограничить. Что же касается теплоцвѣтности самихъ источниковъ, то Кноблаухъ опредѣлилъ, что черезъ минерально-зеленое стекло проходитъ 23% падающихъ лучей всякаго изъ 3ᵉˣъ источниковъ, слѣдовательно мы должны принять, что всѣ три источника содержатъ одинаковое процентное количество лучей той теплоцвѣтности, которая одинакова съ теплоцвѣтностью зеленаго стекла. Раньше мы упомянули, что каменная соль теплопрозрачна, но Магнусъ показалъ, что каменную соль нельзя считать абсолютно теплопрозрачной. Онъ изслѣдовалъ теплопрозрачность каменной соли относительно лучей, исходящихъ отъ нагрѣтой

пластинки каменной же соли. Приборъ былъ устроенъ такимъ образомъ: желѣзная согнутая пластинка dee нагрѣвается газовою лампою, имѣющего много горѣлокъ б. Выше этой пластинки находится другая желѣзная же, съ продольнымъ отверстіемъ fo, откуда выходитъ теплый воздухъ. Надъ отверстіемъ fo помѣщаются испытываемыя тѣла, долженствующія служить источниками теплоты. На чертежѣ изображена такая пластинка p (черт. 5), привѣшенная на проволокѣ къ вилкѣ oq, поддерживаемой подставкой hk. Лучи, испускаемые нагрѣтою пластинкою p, проходятъ въ отверстіе n, сдѣланное въ двойномъ металлическомъ экранѣ AB; отверстіе n можетъ быть въ случаѣ надобности закрыто двойною металлическою заслонкою Fg. Термическій столбикъ помѣщенъ въ стеклянномъ ящикѣ HJK, такъ что вычерненные спаи столбика находятся въ 500 m.m. разстоянія отъ нагрѣтой пластинки p. Стеклянный ящикъ покрывается картоннымъ кругомъ LM, передъ которымъ находится двойной металлическій щитокъ CD съ отверстіемъ m; къ этому отверстію приставляется испытуемая пластинка xчy. Когда была нагрѣта пла-



Черт. 5.

стинки каменной соли, то, (принимая число падающихъ лучей за 100) проходило:

Сквозь каменную соль (1^{mm} толщ) — — — 53,2.

" сильвинъ (3^{mm} толщ) — — — 55,2

" плавиковъ шпатъ ($2,8^{mm}$ толщ) — — — 8,3

" хлористое серебро ($9,6^{mm}$ толщ) — — — 64,0.

Изъ этихъ опытовъ видно, что каменную соль нельзя считать вполнѣ теплопрозрачною, такъ какъ она пропускаетъ гораздо меньшее количество лучей, исходящихъ отъ раскаленной пластинки каменной соли, чѣмъ хлористое серебро. Теплопрозрачность газовъ была изслѣдована слѣдующимъ образомъ: брались длинныя стеклянныя трубки, которыя с обоихъ концовъ закрывались пластинками изъ стекла или каменной соли, но опыты оказались неточными, такъ какъ внутренняя

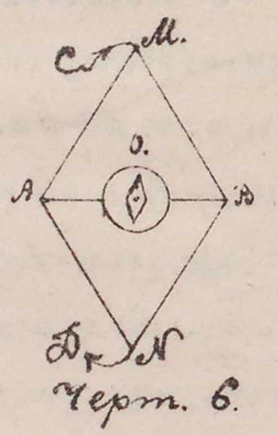
поверхности стѣнокъ оказывали сильное вліяніе на проходящіе лучи. Изъ такихъ опытовъ заключили, что теплопрозрачность воздуха, кислорода и водорода почти одинакова, теплопрозрачность окиси азота слабѣе, а маслороднаго газа еще слабѣе. Затѣмъ оказалось, что лучи горящаго газа проходятъ свободнѣе, чѣмъ лучи отъ кипящей воды. При этихъ опытахъ было обращено вниманіе на влажность изслѣдуемыхъ газовъ. Тиндалль, взявъ трубку съ донышками изъ каменной соли, нашелъ, что присутствіе паровъ уменьшаетъ теплопрозрачность. Магнусъ же, взявъ трубку съ донышками изъ стекла, нашелъ, что присутствіе паровъ въ воздухѣ при 16° не вліяетъ на теплопрозрачность до тѣхъ поръ, пока пары не осаждаются. Различіе между результатами этихъ опытовъ, по мнѣнію Магнуса, является потому, что на каменной соли пары осаждаются скорѣе, чѣмъ на стеклѣ.

§3 Тепловой спектръ

Если пропустить пучекъ свѣтовыхъ лучей тепловыхъ черезъ призму, то получимъ тепловой спектръ, состоящій изъ двухъ частей: свѣтлой, соотвѣтствующей свѣтовому спектру и темной, продолжающей спектръ за красными лучами.

Теплопрозрачность тѣлъ имѣетъ вліяніе при полученіи теплового спектра. Тепловой спектръ, полученный при употребленіи призмы изъ каменной соли, представляетъ большее протяженіе въ сторону темной части, чѣмъ полученный при употребленіи стеклянной призмы. Помѣщая смоченную бумажку въ темной части спектра, Гершель замѣчалъ, что она высыхаетъ скорѣе въ 4 мѣстахъ. Впослѣдствіи термометръ съ очень маленькимъ шарикомъ, будучи помѣщенъ другими наблюдателями въ эти мѣста показывалъ наибольшую температуру; такимъ образомъ были опредѣлены въ темной части спектра 4 maxima и minima, но minimы не могутъ соотвѣтствовать фраунгоферовымъ линіямъ, вслѣдствіе своей ширины. Меллони для изслѣдованія теплового спектра солнца употреблялъ термомультипликаторъ съ узкимъ прорѣзомъ (отъ ½ до 2^{mm}) измѣняющейся ширины. Грань призмы, обращенная къ солнцу была покрыта тушью и въ этой грани сдѣлана узкая полоса, параллельная ребру призмы, такъ какъ ширина прорѣза вліяетъ на тепловой спектръ, какъ извѣстно изъ опыта. Помѣщая термомультипликаторъ въ различныхъ частяхъ

спектра, онъ нашелъ, что maximum напряженія тепловыхъ лучей лежитъ за красными лучами. Еще замѣчательные изслѣдованія лучистой теплоты, принадлежащія Ланглею. Приборъ его называется болометромъ. Онъ основанъ на измѣненіи сопротивленія току проводниковъ съ измѣненіемъ температуры ихъ. Для болометра употребляется распредѣленіе проволоки извѣстное подъ названіемъ мостика Уитстона и показанное на черт. 6. Проводники для схемы изображены въ формѣ ромба AMBN, въ которомъ вершины A и B соединены проводниками съ гальванометромъ O.



Черт. 6.

Изъ точки C идетъ гальваническій токъ, отъ источника гальваническаго элемента и такъ распредѣляется въ проводникахъ, что черезъ гальванометръ проходятъ двѣ равныя и противуположеныя по направленію части тока отъ B и A: онѣ не производятъ никакого отклоненія магнитной стрѣлки, если

$$AM : AD = MB : NB.$$

(предполагая, что сопротивленія этихъ проволокъ находятся въ такой же пропорціо-

нальности) Если какая нибудь изъ этихъ четырехъ проволокъ получитъ температуру высшую чѣмъ другія, то по гальванометру проходитъ токъ, котораго сила зависитъ отъ степени нагрѣванія проволоки. Весьма тонкій проводникъ болометра, помѣщенный въ спектрѣ, представляетъ гораздо меньшую ширину, чѣмъ какую можно придать линейному термоэлектрическому столбику. Чувствительность надлежаще устроеннаго болометра чрезвычайно велика. Ланглей вводилъ въ спектръ одну изъ названныхъ вѣтвей мостика и судилъ по отклоненію стрѣлки гальванометра о напряженіи тепловыхъ лучей въ различныхъ частяхъ спектра. Изслѣдованія подтвердили результаты Меллони. Если принимать во вниманіе только видимую часть спектра, то maximum теплоты лежитъ въ части около линіи D, какъ и maximum свѣтового напряженія. Это происходитъ потому, что лучи свѣта и теплоты не могутъ быть отдѣлены другъ отъ друга. Если мы передъ спектромъ поставимъ вычерненную пластинку стекла или каменной соли, то свѣтового спектра не получимъ, а также не получимъ видимаго теплового спектра. Если мы возьмемъ зеленое стекло и сравнимъ посредствомъ фотометрическихъ и тепловыхъ измѣреній напряженность лучей свѣтового —

Лит. Маркова СПб.

и теплового спектра, пропущенныхъ черезъ это стекло, то найдемъ слѣдующее:

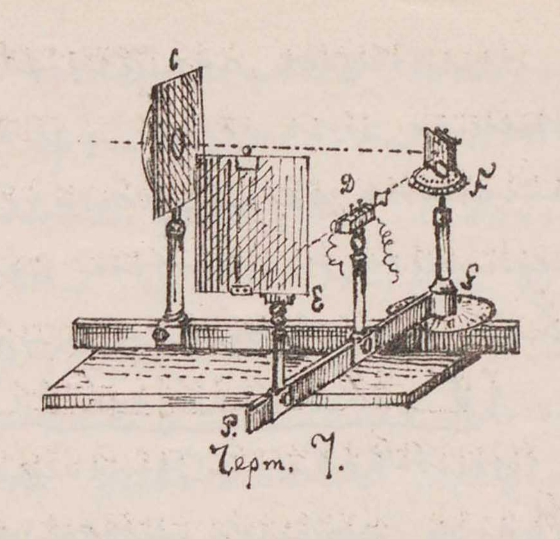
Цвѣта лучей.	Количество свѣта	проходящаго теплоты
Красные	0,000	0,000
оранжевые	0,044	0,040
желтые	0,080	0,093
зеленые	0,217	0,209

Отсюда видно, что количества какъ проходящихъ, такъ и поглощенныхъ свѣтовыхъ и тепловыхъ лучей (при этомъ относительное количество) одно и тоже для одного и того же стекла.

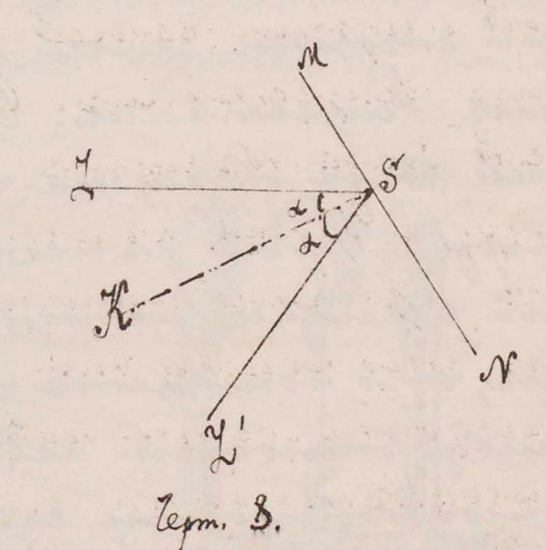
§4 Отраженіе теплоты

Въ явленіяхъ отраженія теплоты мы видимъ полнѣйшую аналогію съ явленіями отраженія свѣта. Для опытовъ съ отраженіемъ тепловыхъ лучей служитъ приборъ Меллони, къ которому прибавлено слѣдующее приспособленіе: испытываемое тѣло I можетъ вращаться около вертикальной оси, около которой вращается также линейка PG. На подставкѣ, укрѣпленной на линейкѣ PG находится термическій столбикъ D и двойной щитокъ E (черт. 7). Угловое перемѣщеніе тѣла I измѣряется посредствомъ верхняго кружка F, а угловое перемѣщеніе линейки посредствомъ нижняго кружка G. Если лучъ теп-

лоты падаетъ на поверхность MN (черт. 8) и образуетъ съ нормалью KI уголъ $\angle LIK = \alpha$, то онъ отразится по направленію L', при чемъ $\angle KIL' = \angle LIK = \alpha$. Для стекла количество отраженныхъ лучей будетъ увеличиваться при увеличеніи α и уменьшаться при уменьшеніи α. Для стали — наоборотъ, подобно тому, какъ и для



Черт. 7.



Черт. 8.

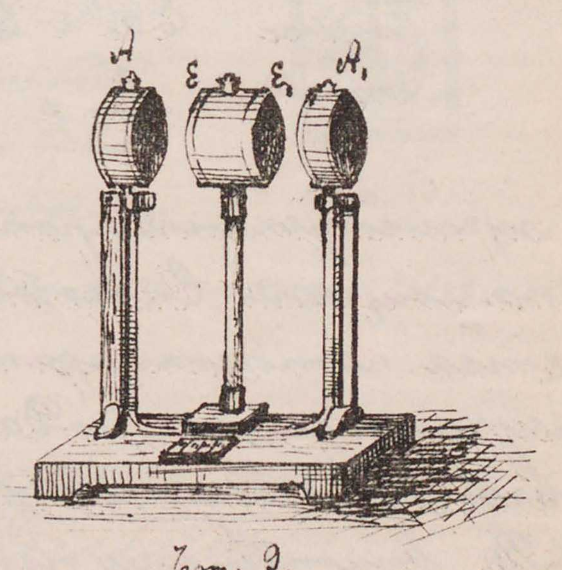
свѣтовыхъ лучей. Изъ металлическихъ полированныхъ поверхностей лучше всего отражаютъ лучи теплоты серебро, латунь и мѣдь; (по Меллони первое мѣсто занимаетъ ртуть). Теплоцвѣтность при отраженіи слабо выражается. Если вмѣсто полированныхъ пластинокъ возьмемъ матовыя, то онѣ будутъ разсѣивать лучи теплоты. Для различныхъ пластинокъ законы разсѣиванія различны, поэтому, если мы будемъ изображать кривыми разсѣиваніе теплоты, то для различныхъ пласти

нокъ получимъ различныя кривыя. Изъ опытовъ опредѣлили, что одна и та же пластинка отражаетъ разное количество лучей, смотря по теплоцвѣтности источника, значитъ и поверхность пластинки теплоцвѣтна.

§5 Поглощеніе теплоты

Для изслѣдованія поглощенія теплоты Меллони бралъ кружки слюды и покрывалъ ихъ съ одной стороны сажей а съ другой изслѣдуемымъ веществомъ. Сторона, покрытая сажей была обращена къ термомультипликатору, а другая къ источнику теплоты: онъ бралъ различные источники теплоты и нашелъ, что поглощенія теплоты зависитъ отъ теплоцвѣтности падающихъ лучей и отъ теплоцвѣтности самихъ тѣлъ. Провосте и Десенъ покрывали термометръ порошками тѣлъ и помѣщали его въ фокусъ чечевицы, собирающей лучи источника. Когда температура дѣлалась постоянного, то, удаливъ термометръ, наблюдали скорость охлажденія. Такъ какъ термометръ передъ удаленіемъ терялъ и получалъ количество теплоты, пропорціональное способности поглощенія порошка, покрывающаго шарикъ, то отношеніе скоростей охлажденія термометра при различныхъ покрывающихъ порошкахъ есть вмѣстѣ съ

ніемъ и отношеніе способностей поглощенія. При сравненіи лучеиспускательной способности съ способностью поглощенія была найдена пропорціональность между ними. Приборъ, устроенный для доказательства этого - есть разностный термометръ, у котораго вмѣсто стеклянныхъ шариковъ придѣланы металлическія коробки A и A' (черт. 9) Между этими коробками помѣщается трегьл EE, которая наполняется водою при температурѣ около 100°. Дно средней коробки E покрыто сажей, а E, - высеребрено. Дно A, - высеребрено, а A покрыто сажей. Если разстояніе отъ средней коробки до A, равно разстоянію отъ той же



Черт. 9.

коробки до A, то жидкость въ термометрѣ останется на прежнемъ мѣстѣ. Положимъ, что температура сосуда EE, — $\vartheta°$, а температура A и A' — t° и если способность испусканія лучей сажею E, а способность поглощенія a и соотвѣтственно этому у серебра способность лучеиспусканія E', а поглощенія a', то дно A' получитъ отъ каждой точки E количество теплоты пропорціональное Ea'; пусть Q—

коэффиціентъ пропорціональности, подобно A' получаетъ отъ поверхности E ... QEa', гдѣ Q зависитъ отъ величины поверхности E, отъ разстоянія $A'E$ и отъ температуръ t и ϑ.

Точно также найдемъ, что коробка A получаетъ $QE'a$. Опытъ показываетъ, что обѣ коробки получаютъ одинаковое количество теплоты, слѣдовательно:

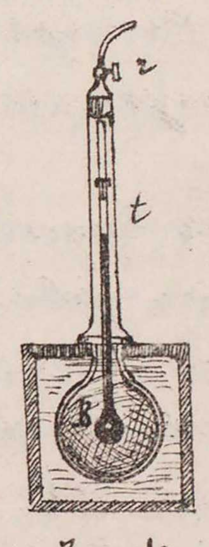
$$QEa' = QE'a$$

или $\quad Ea' = E'a$

отсюда $\quad \dfrac{E}{E'} = \dfrac{a}{a'}$ т. е. способность

лучеиспусканія пропорціональна способности поглощенія. Способность поглощенія оказывается не только пропорціональной способности лучеиспусканія, но даже равной. Это показываетъ слѣдующій опытъ: берутъ шаръ B, внутренняя поверхность котораго покрыта сажей и внутри котораго помѣщено термометръ T (черт. 10) такъ, чтобы въ центрѣ шара B находился шарикъ термометра. Шарикъ термометра покрываютъ искусственными веществами. Трубка термометра окружается стеклянной трубкой t, которая сообщается съ шаромъ B, затѣмъ черезъ эту трубку t выкачиваютъ воздухъ изъ шара B и закрываютъ кранъ r. При-

боръ помѣщаютъ въ сосудъ съ горячею водою и наблюдаютъ время, въ теченіи котораго термометръ повысится на 1°. Затѣмъ приборъ помѣщаютъ въ снѣгъ и смотрятъ, въ какое время термометръ покажетъ пониженіе температуры на 1°. Въ I случаѣ замѣченное время служитъ мѣрою поглощательной способности, а во II - мѣрою - лучеиспускательной. Опытъ показываетъ, что времена равны, отсюда заключаемъ, что лучеиспускательная и поглощательная способности равны.



Черт. 10.

§ 6 Охлажденіе тѣла лучеиспусканіемъ.

Всякое тѣло, помѣщенное въ средѣ, имѣющей температуру низшую, чѣмъ температура самого тѣла, охлаждается сначала быстро, потомъ медленнѣе. Если назвать температуру среды t_1, температуру тѣла черезъ t_1+t, его поверхность черезъ s, его лучеиспускательную способность черезъ i, то количество теплоты, потерянной тѣломъ въ единицу времени, при небольшомъ избыткѣ t

температуры тѣла надъ температурою средины можетъ предположительно выразиться такъ:

$$i.s.t \quad --- \quad (1)$$

Потеря въ продолженіи очень малаго промежутка времени dx будетъ:

$$i.s.t.dx.$$

Съ другой стороны потеря теплоты тѣломъ зависитъ отъ вѣса p (массы) тѣла и его теплоемкости c; если въ теченіи времени dx температура тѣла понизится на dt, то количество потерянной теплоты будетъ:

$$-p.c.dt,$$

такъ какъ dt принимается съ отрицательнымъ знакомъ. Составляя уравненіе изъ двухъ выраженій для количества потерянной теплоты, получимъ:

$$i.s.t.dx = -p.c.dt.$$

Раздѣляя пониженіе температуры dt на соотвѣтственное время dx и не обращая вниманія на знакъ, получимъ скорость охлажденія v, т.е. пониженіе температуры тѣла въ единицу времени, если бы во всякій промежутокъ времени dx, температура уменьшалась одинаково на dt. Но такъ какъ въ дѣйствительности температура тѣ-

ла непрерывно понижается, то полученная изъ предыдущаго уравненія скорость охлажденія будетъ больше испытанной; во всякомъ случаѣ, съ извѣстной степенью приближенія, будемъ имѣть:

$$v = \frac{i.s}{c.p} t = At \;----(2)$$

гдѣ A есть величина постоянная. Это выраженіе показываетъ, какъ и выраженіе (1), что скорость охлажденія тѣла, или теряемое имъ въ единицу времени количество теплоты, пропорціонально t, т. е. избытку температуры тѣла надъ температурой окружающей средины. Въ этомъ состоитъ законъ Ньютона, предположенный имъ касательно охлажденія тѣлъ. Это ведетъ къ выраженію, представляющему связь между избыткомъ температуры t, которую получитъ тѣло по истеченіи времени x отъ начала охлажденія и величиною x:

$$t = Ae^{-\frac{i.s.x}{c.p}} \;---(3).$$

§7. Опредѣленіе охлажденія опытомъ.

Изъ числа физиковъ, занимавшихся повѣркою закона Ньютона, назовемъ Румфорда, Біо, Эрклебена; ихъ изслѣдованія показали, что

этотъ законъ вѣренъ только для умѣренныхъ избытковъ температуры. Они нашли, что законъ Ньютона удовлетворяется лишь для избытковъ не превышающихъ 50° — 60° Ц.

Давъ формулѣ (3) видъ:

$$t = Ab^{-x}.$$

и предполагая расширить ее значеніе для избытковъ большихъ, они дали ей болѣе сложный видъ:

$$t = Ab^{-\alpha x-\beta x^2} \quad - - - - (4).$$

гдѣ b, α, β — суть постоянныя величины.

Дифференцированіемъ этого выраженія найдемъ выраженіе для скорости охлажденія:

$$-\frac{dt}{dx} = v = \log b.\left[(\alpha+2\beta x)t\right] \quad - - - (5)$$

Изъ формулы (4) вычисляютъ для одного избытка t, соотвѣтственное время x; найденную величину подставляютъ въ уравненіе (5). Что касается величинъ b, α, β, то онѣ могутъ быть опредѣлены изъ 3 опытовъ, показывающихъ избытки температуръ t', t'', t''', по истеченіи одной, двухъ и трехъ минутъ (т. е. при $x = 1, 2, 3.$); v — будетъ соотвѣтствовать охлажденіямъ въ 1-ю, 2-ую, и 3-ю минуты. Наиболѣе замѣчательная работа въ этомъ отношеніи принадлежитъ Дюлонгу и Пти, которая поэтому излагается здѣсь въ главныхъ

подробностяхъ. Эти физики употребляли для своихъ опытовъ термометры съ большими шариками (3, 4 и 7 сантим.), предварительно нагрѣтые до высокой температуры; охлажденіе ртути въ шарикѣ термометра указывалось самимъ же термометромъ. Кромѣ ртути употреблялись и другія жидкости, напр., спиртъ, вода, какъ охлаждающіяся тѣла; но по причинѣ трудности приготовленія изъ нихъ точныхъ термометровъ, эти жидкости были помѣщаемы въ резервуары термоскоповъ и температура ихъ была наблюдаема посредствомъ погруженнаго въ нихъ чувствительнаго ртутнаго термометра. Нагрѣтые термоскопы помѣщались въ полый шаръ (черт 11), внутренность котораго была вычернена. Температура шаровой оболочки удерживалась постоянною: для этого шаръ былъ помѣщаемъ въ резервуаръ воды, температуру которой можно было удерживать постоянной въ предѣлахъ отъ 0° до 80°

Черт. 11

Шаръ можно было наполнять различными газами и можно было разрѣжать воздухъ до 2 m.m. давленія. Если резервуарамъ термоскоповъ дать различную форму, то при одинаковой

массѣ жидкости въ нихъ помѣщенной, поверхности ихъ не будутъ одинаковы (см. черт. 12 — 1, 2, 3).

Изъ опытовъ Дюлонгъ и Пти нашли, что скорости охлажденія одинаковыхъ массъ прямопропорціональны поверхностямъ резервуаровъ. Опыты, произведенные надъ охлажденіемъ 3 термометровъ, которыхъ резервуары имѣли 3, 4 и 7 сант. при постоянной температурѣ вычерненной оболочки и при различныхъ избыткахъ температуры термометровъ надъ температурой оболочки привели къ слѣдующимъ выводамъ:

1.
2.
3

Черт. 12.

1) Чѣмъ больше охлаждающаяся масса, тѣмъ меньше скорость ея охлажденія (т. е. пониженіе ея температуры).

2) Но законъ охлажденія всѣхъ трехъ массъ (т. е. зависимость скорости охлажденія отъ избытка температуры) — одинъ и тотъ же.

Опыты надъ охлажденіемъ различныхъ жидкостей, наливаемыхъ въ резервуаръ термоскоповъ вмѣсто ртути, дали слѣдующіе результаты:

3) Вода, спиртъ, сѣрная кислота, ртуть охлаждаются по одному и тому же закону.

(т. е. зависимости скорости охлажденія отъ избытка).

Опыты охлажденія въ пустотѣ (собственно въ пространствѣ, наполненномъ газомъ при 2 m.m, но со введеніемъ поправки на количество оставшагося воздуха) при измѣненіи не только избытковъ температуры, но и температуры оболочки шара, дали такіе результаты:

4) Скорость охлажденія при постоянномъ избыткѣ температуры, но при различныхъ температурахъ оболочки (напр: температура оболочки = 0°, температура термоскопа = 200°; температура оболочки = 20°, температура термоскопа = 220° и т. д.) возрастаетъ въ геометрической прогрессіи, когда температура оболочки растетъ въ прогрессіи ариѳметической.

Этотъ законъ охлажденія въ пустотѣ, т. е. единственно лучеиспусканіемъ, полностью выражается такъ:

$$V_1 = a^{\theta} m (a^{t} - 1)$$

гдѣ

V_1 есть скорость охлажденія, θ - есть температура оболочки, t - есть избытокъ температуры термоскопа, надъ температурою оболочки, $\underline{a}$ есть величина, опредѣляемая изъ знаменателя геометрич. прогрессіи и раз-

ностью ариѳметической прогрессіи: она = 1,0077. m = 2,1.

Наконецъ, охлажденіе только конвекціей отъ теплопроводности газовъ и ихъ подвижности, происходитъ въ воздухѣ, водородѣ, углекислотѣ по слѣдующимъ одинаковымъ для всѣхъ этихъ газовъ законамъ:

5.) Скорости охлажденія при нѣкоторомъ избыткѣ не зависятъ отъ температуры оболочки.

6) Съ измѣненіемъ упругости газа измѣняется въ томъ же смыслѣ (т.е. убываетъ или возрастаетъ) и скорость охлажденія въ газѣ: съ измѣненіемъ упругости въ геометрической прогрессіи и скорость охлажденія измѣняется въ геометрической прогрессіи.

Скорость охлажденія конвекціей выражается такъ:

$W_{II} = np^b t^c$, гдѣ t - избытокъ температуры.

c = 1,233

p - есть упругость газа

b = 0,45 для воздуха

= 0,38 „ водорода

= 0,517 „ углекислоты

n есть величина, зависящая отъ природы газа и отъ массы охлаждаемаго тѣла.

Изъ этой формулы вычислено, что, если охладительную способность воздуха при $760^{m.m}$ давленія принять за единицу, то охладительная способность водорода = 3,45; углекислоты = 0.97.

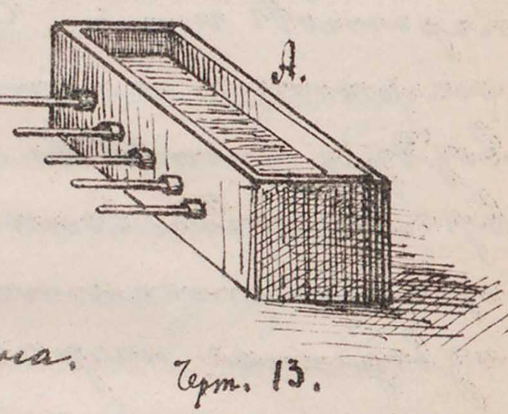
На перенесеніи теплоты вмѣстѣ съ нагрѣтыми частями газовъ и жидкостей основано устройство различныхъ пневматическихъ печей, водяного отопленія, вентилирующихъ аппаратовъ и т. п. Во всѣхъ этихъ приборахъ нагрѣтыя и потому болѣе легкія частицы воздуха или воды подымаются вверхъ въ то время, когда болѣе плотныя, холодныя частицы притекаютъ къ мѣсту, въ которомъ производится нагрѣваніе и которое помѣщается на низшемъ уровнѣ; здѣсь онѣ нагрѣваются, стремятся вверхъ, замѣняются новыми холодными и т. д.

§ 8 Распространеніе теплоты проводимостью.

Теплота можетъ распространяться, также медленно передаваясь отъ болѣе нагрѣтой частицы тѣла къ менѣе нагрѣтой. Ингенгусъ, взявъ ящикъ A и вставивъ въ него пластинки изъ различныхъ металловъ, покрытыя предварительно воскомъ,

наливалъ въ ящикъ горячей воды и замѣчалъ, что у однихъ пластинокъ воскъ растаивалъ скорѣе, чѣмъ у другихъ, откуда заключилъ, что теплота въ различныхъ тѣлахъ распространяется различно. Черт. 13 изображаетъ ящикъ Ингенгуса, въ который вставлены одинаковые бруски различныхъ металловъ. Способность тѣлъ проводить теплоту называется теплопроводностью.

Мы видѣли, что тѣла неодинаково проводятъ теплоту, слѣдовательно теплопроводность различныхъ тѣлъ различна, а въ такомъ случаѣ она можетъ быть измѣрена.



Черт. 13.

§ 9. Коэффиціентъ внутренней и внѣшней теплопроводности.

Прежде всего надо выбрать единицу, которою мы могли-бы измѣрять теплопроводность тѣлъ. За единицу теплопроводности принимаютъ количество теплоты, проходящее въ единицу времени черезъ единицу поверхности безконечной стѣнки, которой толщина равна линейной единицѣ при постоянной разности температуръ обѣихъ поверхностей стѣнки въ 1°. Это такъ назы-

ваемый коэффиціентъ внутренней теплопроводности тѣла, изъ котораго сдѣлана стѣнка.

Принимая коэффиціентъ для какого-нибудь вещества за единицу, найдемъ относительные коэффиціенты для другихъ испытанныхъ тѣлъ; эти числа выражаютъ относительную внутреннюю теплопроводность тѣлъ.

Если допустимъ, что одна изъ поверхностей стѣнки принимаетъ нѣкоторую постоянную температуру θ и теряетъ каждою единицею поверхности въ единицу времени нѣкоторое количество h въ окружающую среду, причемъ предполагается, что температура этой среды есть $(\theta-1)^{\circ}$, то это количество h, согласно терминологіи Фурье, будетъ коэффиціентомъ внѣшней теплопроводности.

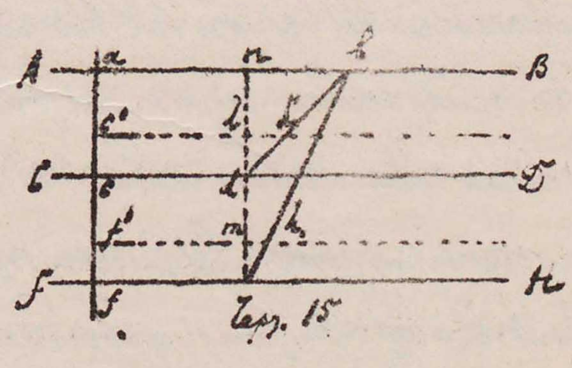
Если температура среды будетъ T°, то стѣнка будетъ терять въ единицу времени количество $h(\theta-T)$ теплоты. Но прежде перехода къ опытамъ, служащимъ для опредѣленія коэффиціентовъ теплопроводности, надо найти зависимость количества переходящей теплоты отъ толщины стѣнки и отъ разности температуръ ея

обѣихъ сторонъ. Положимъ, что AB и CD суть грани стѣнки по направленію толщины (черт. 14). Первый находится при постоянной температурѣ T, второй — при постоянной температурѣ t, меньшей, чѣмъ T. При этомъ условіи теплота передается черезъ стѣнку отъ AB къ CD; необходимо также допустить, что произвольно взятый, весьма тонкій, промежуточный слой MN долженъ находиться при постоянной температурѣ. Второе допущеніе означаетъ, что всякій безконечно тонкій слой или часть его отдаетъ столько теплоты послѣдующему слою, находящемуся при низшей температурѣ, сколько самъ получаетъ отъ предшествовавшаго ему, имѣющаго высшую температуру. Поэтому всякая точка ξ, принадлежащая одному слою и точка m другого слоя столько получаютъ теплоты, сколько отдаютъ ея, и потому каждая точка сохраняетъ постоянную температуру. Такъ какъ точки m и ξ, взятыя произвольно между AB и CD на прямой, пер-

Черт. 14.

A — B
M — m — N
ξ
C — D

пендикулярной къ поверхности стѣнки, то сказанное предположеніе относится и ко всякимъ двумъ другимъ точкамъ, расположеннымъ на прямой линіи, перпендикулярной къ этимъ поверхностямъ.— Допустимъ гипотезу, что количество теплоты, переходящей отъ точки m къ точкѣ n, — пропорціонально разности ихъ температуръ. Безъ сомнѣнія, количество передаваемой теплоты должно зависѣть и отъ разстоянія между точками; но, представляя рядъ точекъ, одинаково отстоящихъ одна отъ другой, при одинаковомъ количествѣ проходящей черезъ каждую изъ нихъ въ единицу времени теплоты, надо допустить, что разность температуръ послѣдовательныхъ точекъ есть постоянная величина. Положимъ, по прежнему, что между предѣлами AB и CD (черт. 15) заключается тѣло,



Черт. 15

и разсмотримъ передачу теплоты отъ точки k къ точкѣ d. Проведя произвольную линію aef перпендикулярно къ AB и положимъ, что ab и ed условно

выражаютъ температуры точекъ n и d, находимъ вмѣстѣ съ тѣмъ, что nb есть разность этихъ температуръ. Прямая db изображаетъ измѣненіе температуры, такъ что температура слоя $c'ld'$ будетъ выражаться линіею $c'd'$. Представимъ теперь слой вдвое толще перваго, заключающійся между предѣлами AB и FH, и положимъ, что ab и fh суть температуры обѣихъ поверхностей, такъ что разность температуръ по прежнему равна nb.

Можно доказать, что количество теплоты, проходящей черезъ новую пластинку въ единицу времени, вдвое менѣе прежняго. Въ точкахъ m и l, одинаково отстоящихъ отъ соотвѣтственныхъ предѣльныхъ поверхностей CD и FH, такъ что $ld = mh$, будутъ постоянныя температуры $c'd'$ и $f'h'$. Разности температуръ точекъ l и d, точекъ m и h будутъ соотвѣтственно ld' и mh'. Но изъ подобія треугольниковъ имѣемъ пропорціи: $ld' : nb = ld : nd$;

$mh' : nb = mh : nh$. Такъ какъ $ld = mh$, по положенію, то: $ld' : nd = mh' : nh$; $mh' : ld' = nd : nh$

Но $nd = \frac{1}{2} nh$, слѣдовательно, $mh' = \frac{1}{2} ld'$; слѣдовательно, разность температуръ между

двумя послѣдовательными точками, одинаково отстоящими одна отъ другой въ каждомъ слоѣ, вдвое меньше въ той стѣнкѣ, которая имѣетъ двойную толщину. А такъ какъ количество проходящей теплоты пропорціонально этой разности, то изъ этого слѣдуетъ, что количество теплоты, проходящей въ единицу времени черезъ стѣнки различной толщины, обратно пропорціонально ихъ толщинѣ.

Называя черезъ Q количество теплоты, проходящей въ единицу времени черезъ поверхность S стѣнки, имѣющей толщину p, можемъ написать: $Q = K \cdot S \frac{T-t}{p}$, гдѣ K — коэффиціентъ, зависящій отъ вещества стѣнки; для его опредѣленія надо положить $p=1$; $S=1$; $T-t=1$; такимъ образомъ K есть коэффиціентъ внутренней теплопроводности по опредѣленію, высказанному выше.

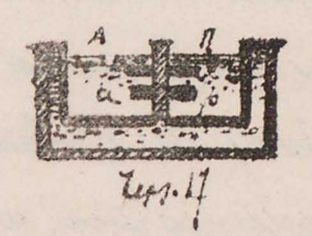
Пекле сдѣлалъ много опытовъ для непосредственнаго опредѣленія величины Q. Для этого онъ помѣщалъ испытываемую пластинку между двумя резервуарами воды A и B (черт. 16), имѣющими различныя температуры и отдѣленными одинъ отъ дру-

гою непроводникомъ теплоты. Первые опыты показали, что количество теплоты, переходящей изъ одного резервуара въ другой, не зависитъ отъ толщины пластинки; но, когда введены были въ приборъ вращающіяся щетки, которыя обтирали обѣ поверхности пластинки, то получены были результаты, показавшіе, что количество переходящей теплоты, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, обратно пропорціонально толщинѣ пластинокъ. Изъ этого можно заключить, что въ первыхъ опытахъ при поверхностяхъ пластинки оставались неподвижные слои жидкости, которые, хотя и были, вѣроятно, очень тонки, но своей худой теплопроводностью скрывали законъ передачи теплоты. Вообще, этотъ способъ очень сложенъ, такъ что въ практикѣ оставленъ.


Черт. 16

Кальвертъ и Джонсонъ для опредѣленія теплопроводности металловъ употребляли два толстостѣнные сосуда A и B изъ каучука, въ одномъ изъ которыхъ находилась вода при температурѣ около 90° (черт. 17), а въ дру

томъ опредѣленное вѣсовое количество воды при 16°. Испытываемое тѣло въ видѣ бруска αβ, имѣющаго 6 сант. длины и 1 кв. сант. въ поперечномъ разрѣзѣ, проходило сквозь стѣнки обоихъ сосудовъ, такъ что одинъ конецъ бруска находился постоянно при 90°, а другой передавалъ полученную теплоту водѣ въ 16° и нагрѣвалъ ее. Опыты продолжались по 15 минутъ и количество теплоты, переданной водѣ, въ этотъ промежутокъ времени, принималось пропорціональнымъ теплопроводности. Сосуды были отдѣлены непроводниками одинъ отъ другого, и изслѣдователи полагали, что по дурной теплопроводности каучука боковое прикосновеніе къ нему металловъ не имѣло вліянія на результатъ, съ чѣмъ, впрочемъ, трудно согласиться. Но если опытъ продолжается недолго, то тогда потеря теплоты черезъ теплопроводность каучука ничтожна и результаты получаются очень близки къ дѣйствительности.



Черт. 17

X. Графическій способъ опредѣленія теплопроводности.

Многіе ученые обратили вниманіе на способъ передачи теплоты въ однородныхъ брускахъ и задались цѣлью графически представить эту передачу. Для этого брали довольно длинный брусокъ, одинъ конецъ котораго поддерживался при постоянной температурѣ; при чемъ замѣчали, что другой его конецъ B (черт. 18) не измѣняетъ своей температуры. Причина такого явленія — потеря теплоты поверхностью. Такое замѣчаніе дало возможность изобразить измѣненіе температуры кривой линіей, откладывая на оси AB разстоянія, а на оси AC соотвѣтствующія температуры, и найдемъ кривую. Фурье, а потомъ Біо изъ опытовъ дали такое уравненіе этой кривой: $\Delta t = Ae^{-nx} + Be^{nx}$, (a) гдѣ Δt — разность температуръ окружающаго воздуха и изслѣдуемаго слоя, A и B — постоянныя численныя величины, e — основаніе неперовыхъ логарифмовъ, x — разстояніе слоя отъ нагрѣваемаго конца, n — величина, равная $= \sqrt{\frac{p.f}{k.s}}$ (b), гдѣ s —

C

A B

Черт. 18

площадь поперечнаго сѣченія, k — коэффиціентъ внутренней теплопроводности, p — периметръ поперечнаго сѣченія, f — коэффиціентъ внѣшней теплопроводности. Потеря теплоты поверхностью есть причина, по которой брусокъ или проволока, нагрѣваемыя съ одного конца, имѣютъ въ нѣкоторомъ отъ него разстояніи температуру, одинаковую съ температурой воздуха. Если брусокъ достаточно длиненъ, чтобы это случилось, то для него можно положить $\Delta t = 0$ при $x = \infty$. Но для этого необходимо, чтобы B было также равно нулю. Послѣ этого $\Delta t = Ae^{-nx} = A\frac{1}{e^{nx}}$.

Отсюда видно, что если разстоянія x разсматриваемыхъ слоевъ увеличиваются въ ариѳметическомъ отношеніи, то соотвѣтственныя температуры Δt уменьшаются въ геометрической прогрессіи. Коэффиціентъ A предполагается постояннымъ, слѣдовательно, онъ сохраняетъ свою величину и для $x = 0$; но въ этомъ случаѣ $A = T$, гдѣ T — температура нагрѣваемаго конца. Такимъ образомъ $\Delta t = Te^{-nx} = Te^{-x\sqrt{\frac{fp}{ks}}}$ (e).

Во власти экспериментатора выбрать

брусья, у которыхъ p, s и f одинаковы. Тогда для перваго бруска $\Delta t = Te^{-x\sqrt{\frac{f.p}{k.s}}}$, для второго $\Delta t_1 = Te^{-x_1\sqrt{\frac{f.p}{k_1 s}}}$. Выбравъ разстоянія на брусьяхъ такъ, чтобы испытуемыя температуры были одинаковы, имѣемъ:

$x\sqrt{\frac{f.p}{k.s}} = x_1\sqrt{\frac{f.p}{k_1 s}}$ или $\frac{k_1}{k} = \frac{x_1^2}{x^2}$, т.е. коэффиціенты внутренней теплопроводности относятся между собою, какъ квадраты разстояній этихъ слоевъ отъ нагрѣваемаго конца.

Давая x значенія: $x_2 = 2l$; $x_3 = 3l$; $x_4 = 4l$, получимъ соотвѣтственно 1) $\Delta t_2 = Te^{-2nl}$; 2) $\Delta t_3 = Te^{-3nl}$; 3) $\Delta t_4 = Te^{-4nl}$. Складывая (1) и (3) выраженія и дѣля на (2), получимъ:

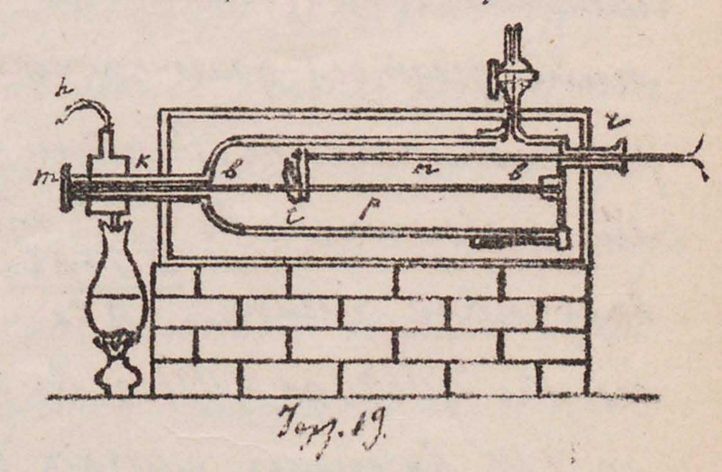
$$\frac{\Delta t_2 + \Delta t_4}{\Delta t_3} = \frac{e^{-2nl} - e^{-4nl}}{e^{-3nl}} = (e^{nl} - e^{-nl}) =$$

постоянному числу. — Для вычисленія коэффиціента теплопроводности, не основываясь на опредѣленіи мѣста слоевъ равной температуры въ двухъ сравниваемыхъ брускахъ, обратимся къ формулѣ (e):

$\Delta t = Te^{-nx}$ или $\frac{\Delta t}{T} = e^{-nx}$; $\Delta t_1 = T_1 e^{-n_1 x_1}$ или $\frac{\Delta t_1}{T_1} = e^{-n_1 x_1}$; раздѣливъ одно на другое и взявъ неперовы логарифмы, получимъ отношеніе коэффиціентовъ:

$$\left(\frac{\log_e \Delta t}{\log_e \Delta t_1}\right)^2 - \left(\frac{\log T}{\log T_1}\right)^2 = \left(\frac{-nx}{-n_1 x_1}\right)^2;$$

x обращается въ опредѣленную величину C, x_1 — въ C_1. Но во всѣхъ случаяхъ найдемъ только отношеніе коэффиціентовъ, между тѣмъ какъ въ способѣ Пекле находимъ самую величину коэффиціента. Съ большими предосторожностями произведена была работа Францомъ и Видеманомъ. Прикосновеніе термической пары, продолжавшееся нѣсколько секундъ, было уже достаточно для сообщенія магнитной стрѣлкѣ постояннаго отклоненія. Въ приборѣ Видемана и Франца испытываемая проволока, 0,5 метра длины, помѣщалась въ стеклянномъ колоколѣ, въ которомъ можно было разрѣжать воздухъ. Колоколъ p (черт. 19) имѣлъ съ одной стороны металлическое дно, а съ другой горло, въ которое вставлялась трубка K, поддерживавшая нагрѣваемую часть проволоки; для



Черт. 19.

нагрѣванія служили пары кипящей воды,

вступавшіе въ металлическую коробку m, надѣтую на трубку, и выходившіе потомъ черезъ отводную трубочку k. Къ металлическому дну стекляннаго колокола была придѣлана трубочка r, въ которой могъ двигаться, не пропуская воздуха, стержень n, поддерживавшій внутри колокола малую термическую пару l съ надлежащимъ приспособленіемъ для того, чтобы ея прикосновеніе къ пруту вв было всегда одинаково. Отклоненіе магнитной стрѣлки отъ термоэлектрическаго тока наблюдалось на зеркальномъ гальванометрѣ Видемана. Чувствительность прибора была такова, что, при избыткѣ въ 5° температуры нѣкоторой части прута надъ температурой воздуха, въ соприкасающейся термической парѣ происходилъ токъ, отклонявшій зеркало на 20 дѣленій; десятыя доли каждаго дѣленія были всякій разъ наблюдаемы. Опыты надъ двумя мѣдными проволоками въ $5^{m.m.}$ толщины дали для повѣрочнаго числа $\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_3}$ частное, измѣнявшееся отъ 2,062 до 2,091 и въ одномъ наблюденіи до 2,111 въ томъ случаѣ, если проволока находилась въ воздухѣ. Вообще надо сказать, что

полученные результаты дѣлают весьма вѣроятнымъ теоретическій законъ Біо распредѣленія теплоты въ брускахъ въ предѣлахъ опыта, т.е. до избытка температуры въ 23°-25°. — Относительная теплопроводность нѣкоторыхъ металловъ, по Видеману, выражается числами слѣдующей таблицы:

Серебро	100	Олово	14,5
Мѣдь	73,6	Желѣзо	11,9
Золото	53,2	Платина	8,4
Латунь	23,6	Новое серебро	6,3
Цинкъ	19	Висмутъ	1,8

Свинецъ проводитъ теплоту почти такъ, какъ платина.—

Труднѣе поддаются опыту дурно проводящія неметаллическія тѣла; однакоже Депре изслѣдовалъ мраморъ, фарфоръ и нѣкоторыя другія; теплопроводности этихъ тѣлъ, принимая теплопроводность желѣза за 100: 6,4 и 3,3. Віоллетъ опредѣлилъ теплопроводность древеснаго угля въ 60-66, смотря по температурѣ, при которой уголь полученъ, если проводимость желѣза принять за 100; проводимость кокса доходитъ до 85. По замѣчанію

самого Віолеттa, метода, по которой онъ нашелъ эти числа, представляетъ мало точности, и потому не помѣщаемъ ея описанія.

Для опредѣленія теплопроводности пластинки въ ширину, Фурье употребляетъ слѣдующій приборъ: испытываемое тѣло D кладется на тонкостѣнный металлическій ящикъ B (черт. 20) черезъ который пропускается по трубкѣ C паръ, сообщающій ему постоянную температуру. На испытываемое тѣло накладывается коническій сосудъ A, затянутый съ широкаго основанія тонкою перепонкою; сосудъ наполняется ртутью, и черезъ вершину конуса опускается въ сосудъ ртутный термометръ T. Коническій сосудъ A ставится на пластинку, температура его повышается и, наконецъ, дѣлается постоянной; количество теплоты въ этомъ случаѣ, проходящей черезъ пластинку, равно теплотѣ, теряемой термометромъ въ воздухѣ. Обозначимъ температуру ящика и нижней поверхности пластинки T°, температуру верхняго слоя — t°,

Черт. 20

воздуха - ϑ°, толщину пластинки - e, то получаемъ формулу: $P(t-\vartheta) = K\frac{T-t}{e}$, гдѣ $P(t-\vartheta)$ есть потеря теплоты термометромъ въ воздухѣ.

Точно также для второй пластинки находимъ: $P(t'-\vartheta) = K'\frac{T-t'}{e'}$; раздѣляя, получаемъ:
$$\frac{K}{K'} = \frac{t-\vartheta}{t'-\vartheta}\cdot\frac{T-t'}{T-t}\cdot\frac{e}{e'}.$$

Такимъ образомъ можно опредѣлить относительный коэфиціентъ худыхъ проводниковъ. Что касается теплопроводности жидкостей, то наблюденія дѣлались по большей части надъ водой и показали, что жидкости проводятъ дурно теплоту. Для опытовъ былъ взятъ глубокій деревянный сосудъ, сквозь стѣны котораго были продѣты термометры A, B, C, на равномъ разстояніи др. г. отъ друга (черт. 21). По наполненіи сосуда водою, сверху опускали мѣдный сосудъ K, черезъ который постоянно протекала горячая вода. Равномѣрное распредѣленіе тепла было черезъ

Черт. 21

24 часа послѣ начала опыта, тогда какъ для металловъ при тѣхъ же самыхъ условіяхъ

достаточно было 2-3 часовъ.

Опытъ показалъ, что и къ теплопроводности жидкостей приложима формула Фурье, т.е. если термометръ A показываетъ температуру Δt_1, термометръ B — Δt_2 и термометръ C — Δt_3, то $\frac{\Delta t_1 + \Delta t_3}{\Delta t_2}$ = постоянному числу.—

Опыты надъ теплопроводностью газовъ не удаются, потому что теплота, кромѣ теплопроводности, здѣсь распространяется и путемъ лучеиспусканія. Лучеиспусканіе старались задержать, подкладывая подъ нагрѣваемый сосудъ пластинку квасцовъ, но все-таки къ желаемымъ результатамъ не пришли.

Опыты Стефана показали только, что коэффиціенты теплопроводности газовъ еще меньше, чѣмъ жидкихъ тѣлъ, напр. теплопроводность воздуха въ 20000 разъ меньше теплопроводности мѣди. Вообще, всѣ работы по опредѣленію коэффиціентовъ теплопроводности дали самые грубые результаты и заставляютъ желать еще очень многаго.

Распространеніе теплоты въ неоднородныхъ тѣлахъ.

Теплопроводность пластинокъ, вырѣзанныхъ изъ одного и того-же кристалла, но по различнымъ направленіямъ, неодинакова. Опыты были произведены слѣдующимъ образомъ: пластинки покрывались воскомъ, насаживались на острый конецъ A /. черт. 22 /. серебрянаго прута ABC. Конецъ металлическаго прута C нагрѣвался пламенемъ спиртовой лампочки. На пластинкѣ отъ таянія воска образуется кругъ или эллипсъ. Поверхность равной температуры /. изотермическая /. оказывалась въ однихъ кристаллахъ эллипсоидомъ вращенія по большей оси, въ другихъ—по меньшей оси, въ третьихъ эллипсоидъ съ различными осями. Дерево проводитъ теплоту лучше вдоль фибръ, чѣмъ перпендикулярно къ нимъ. Опыты можно производить, покрывая пластинку дерева воскомъ или окрашивая ее въ полуіодистую ртуть. Затѣмъ пропускаемъ сквозь эту пластинку платиновую проволоку, по которой проходитъ электрическій токъ. Если пластинка покрыта вос-

A
K
B
C

Черт. 22.

комъ, то воскъ таетъ, если-же она окрашена въ полуіодистую ртуть и полуіодистую мѣдь, то она чернѣетъ тамъ, гдѣ нагрѣваніе достаточно. Опыты Секармона показали, что для тѣлъ аморфныхъ изотермическая поверхность есть кругъ; для кристалловъ правильной системы изотермическая поверхность представляется эллипсоидомъ вращенія по большой или малой оси.

Опредѣленіе относительнаго коэффиціента теплопроводности.

Для нагляднаго показанія неравенства коэффиціентовъ теплопроводности различныхъ тѣлъ могутъ служить двѣ одинаковыхъ подлинныхъ стержня изъ различныхъ металловъ, напримѣръ изъ мѣди и желѣза. Эти желѣзный и мѣдный стержни припаяны къ двумъ одинаковымъ мѣднымъ цилиндрамъ A и B /черт. 23/, отъ которыхъ шли трубки изъ стекла a, в; стеклянныя трубки были наполнены подкрашенною жидкостью и опущены въ сосуды K, K', тоже наполненые тою же жидкостью. Позади трубокъ a и в, были поставлены шкалы съ равными дѣленіями. Въ началѣ опыта жидкость въ обѣихъ трубкахъ стояла на одинаковомъ уровнѣ и со-

Черт. 23

отвѣчствовала дѣленію 0. Концы стержней были загнуты и позади подставки нагрѣвались спиртовою лампочкою. Теплота по стержнямъ достигала цилиндровъ А и В, въ которыхъ расширялся воздухъ и давилъ на жидкость, находящуюся въ трубкахъ, отчего она понижалась. Такъ какъ жидкость въ трубкѣ а понижалась больше, чѣмъ въ трубкѣ в, то изъ этого надо заключить, что мѣдь проводитъ теплоту лучше, чѣмъ желѣзо.

Для наблюденія теплопроводности жидкостей употребляется точно такой-же приборъ, но только стержни были изъ одного и того-же металла, а внутри цилиндровъ были укрѣплены пробирки, наполняемыя испытуемыми жидкостями, въ которыя и опускаются стержни. Если въ одной трубкѣ А будетъ находиться ртуть, а въ другой - В - мѣдный купоросъ, то жидкость въ трубкѣ а будетъ понижаться больше чѣмъ въ трубкѣ в. Деларивъ сравнивалъ теплопроводность льда и стекла слѣдующимъ образомъ: въ ящики помѣщались три пластинки, А изъ стекла, В изъ льда и С изъ металла /черт. 24/. Промежутки между стѣнкою ящика К и стеклянною пластинкою А и между металлическою пластинкою С и стѣнкою ящика К' на-

T T A B C K K'

Черт. 24.

полнялся скипидаромъ, въ первомъ случаѣ при 0°, а во второмъ при t°. Между стеклянною пластинкою A и ледяною B, а также между ледяною B и металлическою C наливали ртуть и въ нее опускали термометры T, T, которые въ первомъ случаѣ показывали t, а во второмъ t'. Когда температура дѣлалась постоянной, то количество теплоты было пропорціонально разности температуръ, умноженной на коэффиціентъ теплопроводности и обратно пропорціонально толщинѣ стѣнки. Обозначая черезъ k коэффиціентъ теплопроводности стекла, черезъ d его толщину, черезъ k' и d' коэффиціентъ теплопроводности и толщину ледяной пластинки, онъ нашелъ, что черезъ стекло проходило $k\frac{t}{d}$, а черезъ ледъ $k'\frac{t-t'}{d'}$ и эти два выраженія должны быть равны:

$$K\frac{t}{d} = K'\frac{t-t'}{d'}$$

Отсюда Деларивъ опредѣлилъ: $\frac{k'}{k} = 1,76$. Хотя такимъ образомъ ледъ оказался лучшимъ проводникомъ, чѣмъ стекло, но все-таки онъ — худой проводникъ.

Измѣненіе объема и формы тѣлъ теплотою.

Расширеніе твердыхъ тѣлъ.

Всякій разъ, когда измѣняется температура какого-нибудь тѣла, измѣняется и его объемъ, если нѣтъ механическихъ причинъ тому препятствующихъ. Измѣненіе-же температуры

тѣлъ можетъ быть произведено какъ тепловыми лучами, исходящими отъ источниковъ болѣе или менѣе отдаленныхъ, такъ и частичною передачею теплоты отъ тѣлъ, непосредственно соприкасающихся къ испытываемому. Отъ увеличенія температуры тѣла его объемъ вообще увеличивается, отъ уменьшенія — уменьшается за нѣкоторыми исключеніями, о которыхъ будетъ сказано въ своемъ мѣстѣ. Коэффиціентъ расширенія тѣлъ есть отношеніе приращенія длины или объема тѣла, происшедшаго отъ увеличенія температуры на 1° стоградуснаго термометра къ первоначальной длинѣ или объему тѣла. Коэффиціентъ перваго рода называется линейнымъ, второго рода — объемнымъ или кубическимъ. Если твердое тѣло однородно по всѣмъ направленіямъ, то, зная линейный коэффиціентъ для одного направленія, можно считать безъ чувствительной погрѣшности величину объемнаго коэффиціента втрое больше линейнаго. Изъ способовъ опредѣленія коэффиціента линейнаго расширенія особенную извѣстность заслужилъ способъ Лапласа и Лавуазье. Приборъ этихъ ученыхъ былъ помѣщенъ между четырехъ кирпичныхъ столбовъ /черт. 26/ и состоялъ изъ ящика в (болѣе двухъ метровъ длиною) положеннаго на

Черт. 26.

кирпичной кладки; въ этомъ ящикѣ помѣщалась полоса испытываемаго тѣла, положенная на валики, поддерживаемая стеклянными брусками l, которые поддерживаются перекладинами, лежащими на столбахъ. Испытываемая полоса упирается однимъ концомъ въ неподвижный стеклянный брусъ l, прикрѣпленный къ двумъ горизонтальнымъ перекладинамъ, вдѣланнымъ въ столбы. Свободный конецъ полосы касается также стекляннаго бруска tb, который можетъ вращаться на оси aa, при чемъ вращается также и зрительная труба L, имѣющая 6 футовъ длины. Для наблюденій наполняютъ ящикъ сначала тающимъ льдомъ, или снѣгомъ, а потомъ кипящую водою; въ то-же время наблюдаютъ отдаленную (100 туазовъ) шкалу въ зрительную трубу. Перемѣщеніе оптической оси трубы по этой шкалѣ, раздѣленное на 744 (отношеніе длины стекляннаго плеча къ разстоянію между осью вращенія трубы и шкалою) даетъ приращеніе длины прута между опредѣленными температурами, часть наблюденій Лапласа и Лавуазье помѣщены далѣе въ таблицахъ; замѣтимъ только, что они сдѣлали много опытовъ со стекломъ, которое смотря по составу представляетъ весьма различные коэффиціенты расширенія. Къ сожалѣнію составъ стеколъ имъ не былъ

съ точностью извѣстенъ. Подобнымъ образомъ они замѣтили, что изъ металловъ желѣзо и олово также представляютъ большія различія, смотря по ихъ обработкѣ или происхожденію.

Стекла различнаго состава	отъ 0,000812 до 0,000917
Сталь незакаленная	— 0,001079
Сталь закал. желтл. отпускъ при 65°	0,001239
Желѣзо мягкое, кованое	0,001220
Желѣзо круглое тянутое	0,001235
Золото разл. приготовленія отъ	0,001466 – 0,001552
Мѣдь — " —	0,001712 – 0,001722
Латунь — " —	0,001867 – 0,001890
Серебро — " —	0,001908 – 0,001909
Олово различн. происх.	0,001938 – 0,002173
Свинецъ	0,002848

Эти коэффиціенты относятся къ увеличенію длины при увеличеніи температуры тѣла на 100°. Впослѣдствіи были употребляемы для этой-же цѣли обыкновенные чувствительные рычаги и даже одинъ неравноплечій рычагъ, котораго одно плечо было только въ десять разъ больше другого, но движенія конца длиннаго плеча измѣрялись микрометреннымъ микроскопомъ.
Заслуживаетъ также вниманія способъ Руа и Рамсдена, основанный на непосредственномъ измѣреніи удлиненія стержня по-

мощью микрометренныхъ приборовъ, соединенныхъ съ оптическими, причемъ длина расширяющагося стержня была сравниваема съ неизмънною длиною другого стержня, удерживаемаго при температуръ 0°. Этотъ приборъ имъетъ сходство съ компараторомъ. Для опредъленія коэффиціента расширенія стержней могутъ служить и настоящіе компараторы, состоящіе изъ станка, вдоль котораго могутъ двигаться микрометренные микроскопы, направляемые на оконечности стержней. Объемное расширеніе въ ръдкихъ случаяхъ можетъ быть точно вычислено изъ линейнаго; предпочитаются способы непосредственные въ тъхъ случаяхъ, когда они приложимы. Въ „Тепловыхъ измъреніяхъ" изложенъ способъ опредъленія расширенія стекляннаго шарика термометра. Въсовой термометръ можетъ служить вообще для опредъленія коэффиціента расширенія всъхъ твердыхъ тълъ, неподверженныхъ дъйствію ртути. Палочка испытываемаго тъла помъщается въ резервуаръ термоскопа, котораго дно потомъ запаиваютъ, а узкую трубку оттягиваютъ и сгибаютъ; затъмъ термоскопъ наполняется ртутью; положимъ, что P есть въсъ твердаго тъла и P' въсъ ртути наполняющей свободное пространство резервуара при 0°. Раздъляя въсъ на плотность получимъ объемъ обоихъ тълъ при 0°; сум-

ма объемовъ $\frac{P}{\delta}+\frac{P'}{\delta'}$ равна емкости стекляннаго резервуара при той-же температурѣ. Назовемъ средніе коэффиціенты объемнаго расширенія стекла, ртути и твердаго тѣла черезъ k, d, z. Затѣмъ нагрѣваемъ резервуаръ до температуры t; часть ртути вытекаетъ и положимъ, что вѣсъ ея есть p. Вѣсъ оставшейся ртути равенъ $P'-p$, а ея объемъ при 0° равенъ $\frac{P'-p}{\delta'}$. Составляемъ уравненіе, въ которомъ первая часть изображаетъ емкость резервуара при t°, а вторая — сумму объемовъ ртути и твердаго тѣла при той-же температурѣ; такимъ образомъ получится уравненіе:

$$\left(\frac{P}{\delta}+\frac{P'}{\delta'}\right)(1+kt)=\frac{P'-p}{\delta'}(1+dt)+\frac{P}{\delta}(1+zt),$$

изъ котораго можно опредѣлить коэффиціентъ z. По этому способу Дюлонгъ и Пти опредѣлили коэффиціенты кубическаго расширенія желѣза, платины и мѣди между предѣлами отъ 0° до 100° и отъ 0° до 300°. Вотъ результаты ихъ опытовъ:

(полное расширеніе при увеличеніи температуры на 100°).

	Желѣзо	Мѣдь	Платина
отъ 0° до 100°	0,0013541	0,005154	0,002652
отъ 0° до 300°	0,0044405	0,005650	0,002755

Вторая строка показываетъ среднее расширеніе на каждые 100° въ промежуткѣ отъ 0° до 300°.

собственно коэффиціентъ расширенія % при нагрѣваніи на 1°, найдемъ раздѣленіемъ этихъ чиселъ еще на 100. Отсюда видно, что коэффиціенты расширенія возрастаютъ съ температурою; приблизительные коэффиціенты линейнаго расширенія получатся изъ этихъ чиселъ посредствомъ раздѣленія на 3. — Расширеніе тѣлъ отъ теплоты можетъ быть измѣряемо на основаніи закона Архимеда, опредѣленіемъ ихъ удѣльнаго вѣса при различныхъ температурахъ, изъ потери ихъ вѣса при погруженіи въ жидкость, которой коэффиціентъ расширенія извѣстенъ. По этому способу Маттисенъ опредѣлилъ объемные коэффиціенты расширенія многихъ металловъ и сплавовъ, взвѣшивая ихъ въ водѣ при различныхъ температурахъ.

Бруннеръ по этому-же способу опредѣлилъ коэффиціентъ расширенія льда, взвѣшивая его въ нефти при температурѣ ниже 0° до −6°.

Относительно употребленія этого способа для опредѣленія линейнаго коэффиціента, замѣтимъ, что раздѣленіе объемнаго коэффиціента на 3 только въ томъ случаѣ можетъ дать вѣрный результатъ, если испытываемое тѣло однородно по всѣмъ направленіямъ. Подобная-же причина не позволяетъ получить коэффиціента объемнаго расширенія изъ линейнаго посредствомъ умноженія его на 3. Расширеніе

твердыхъ тѣлъ линейное и объемное принимает-
ся пропорціональнымъ температурѣ, т. е. $l_t = l_0(1+kt)$ или $V_t = v_0(1+k't)$, лишь для средняго коэффиціента k; для выраженія расширенія вообще надо ввести членъ, зависящій отъ второй степени температуры. Объемъ при температурѣ t выразится такъ $V_t = V_0(1+at+bt^2)$,

а расширеніе единицы объема $= at+bt^2$, откуда средній коэффиціентъ $k = \frac{at+bt^2}{t} = a+bt$. Вотъ нѣкоторые результаты измѣреній Матисена:

Платина	$0{,}0000\,2554\,t + 0{,}0000000\,104\,t^2$
Золото	$0{,}0000\,4075\,t + 0{,}0000000\,336\,t^2$
Мѣдь	$0{,}0000\,4463\,t + 0{,}0000000\,555\,t^2$
Серебро	$0{,}0000\,5426\,t + 0{,}0000000\,405\,t^2$
Олово	$0{,}0000\,6100\,t + 0{,}0000000\,789\,t^2$
Свинецъ	$0{,}0000\,8177\,t + 0{,}0000000\,222\,t^2$
Цинкъ	$0{,}0000\,8222\,t + 0{,}0000000\,706\,t^2$

Относительно металлическихъ сплавовъ Маттисенъ выводитъ изъ своихъ опытовъ заключеніе, что величина расширенія сплава есть средняя между расширеніями составныхъ частей. Металлы до изслѣдованій Коппа считались наиболѣе расширяющимися изъ твердыхъ тѣлъ; онъ доказалъ, что многіе минералы, напр. кварцъ, плавиковый шпатъ, имѣютъ большій коэффиціентъ расширенія, чѣмъ цинкъ наиболѣе расширяющійся отъ теплоты ме-

талл. — Нѣкоторые твердые тѣла представляютъ исключеніе изъ общаго закона, по которому съ увеличеніемъ температуры объемъ тѣла увеличивается. Физо нашелъ, что аморфное іодистое серебро съ увеличеніемъ температуры сжимается; измѣренія относятся къ температурамъ между 15°,7 и 51°,3. Закись мѣди, по его-же измѣреніямъ, имѣетъ наибольшую плотность при +4°,1, т. е. увеличивается въ объемѣ какъ при нагрѣваніи, такъ и при охлажденіи, начиная съ этой температуры. Подобнымъ образомъ коэффиціентъ сжатія алмаза при охлажденіи постепенно уменьшается, такъ что наибольшая плотность его при −38°. Физо опредѣлилъ коэффиціенты расширенія многихъ кристалловъ по различнымъ направленіямъ и вообще находилъ ихъ различными. Митчерлихъ еще прежде Физо открылъ неравенство коэффиціентовъ по различнымъ направленіямъ, измѣряя гоніометромъ углы между гранями кристалловъ при различныхъ температурахъ. Въ исландскомъ шпатѣ замѣчено уменьшеніе угловъ доходило до 8½ минутъ, при измѣненіи температуры отъ 0° до 100°; это явленіе не можетъ произойти отъ чего иного, какъ отъ различнаго расширенія кристалла по различнымъ направленіямъ

рганическія тѣла, такія напримѣръ, какъ ерево, представляютъ еще большую разнород-сть по различнымъ направленіямъ, чѣмъ еталлы, а такъ-какъ именно отъ этой еличины зависитъ разность между соотвѣт-ственными коэффиціентами расширенія, то олжно было ожидать, что эта разность для рева будетъ особенно ощутительна. Изъ раз-чныхъ опытовъ, сюда относящихся, можно ивести результаты, полученные Виллари. Кус- дерева были выварены въ маслѣ для то- чтобы измѣренія сдѣлать независимыми ъ вліянія большаго или меньшаго содержа-я воды въ деревѣ. Но и въ такомъ видѣ де-во было нагрѣваемо только отъ 2° до 34°, тому что при дальнѣйшемъ нагрѣваніи роисходили неправильности. Помѣщаемъ ѣсколько коэффиціентовъ, соотвѣтствую-ихъ 1° изъ опытовъ Виллари; въ первой стро- находятся коэффиціенты продольнаго, второй — поперечнаго расширенія, а въ послѣд-й — отношеніе между обоими.

ов. дер.	Липа	Дубъ	Вязъ	Орѣх. дер.	Пихта	Каштанъ
000257	371	492	565	655	541	649
006140	5840	5440	4430	4840	3410	3250
$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$

сюда видно, что поперечное расширеніе

отъ 25 до 5 разъ значительнѣе продольнаго.

Расширеніе жидкостей.

Ртуть.

Для опредѣленія коэффиціента расширенія жидкостей употребляются три способа: термометренный и 2 гидростатическихъ. Одинъ изъ гидростатическихъ способовъ былъ примѣненъ только къ опредѣленію коэффиціента расширенія ртути. Этотъ способъ былъ первый, давшій до извѣстной степени точные результаты, онъ придуманъ былъ Бойлемъ, но въ первый разъ примѣненъ надлежащимъ образомъ къ точнымъ измѣреніямъ Дюлонгомъ и Пти. Сущность его заключается въ слѣдующемъ. Положимъ, что широкія трубки A и B соединены между собою узкою и длинною трубкою C /. чертежъ 27/. Въ трубкахъ налита ртуть, поддерживаемая при постоянныхъ температурахъ t и t'. При этомъ высота болѣе теплаго ртутнаго столба будетъ значительнѣе высоты холодной ртути. Положимъ, что $t' > t$ и назовемъ соотвѣтственныя высоты буквами h' и h, а соотвѣтственныя плотности

A B C

Черт. 27.

ртути черезъ δ' и δ. По гидростатическому закону высоты жидкостей въ сообщающихся сосудахъ обратно пропорціональны ихъ плотностямъ, т. е. $h' : h = \delta : \delta'$ (1)

Но плотности обратно пропорціональны объемамъ, занимаемымъ однимъ и тѣмъ же вѣсовымъ количествомъ ртути, при различныхъ температурахъ, слѣдовательно: $\delta : \delta' = (1 + \alpha t') : (1 + \alpha t)$ . . . (2)

гдѣ 1 есть объемъ одного кубическаго сантиметра ртути при 0° и α — есть средній коэффиціентъ расширенія ртути.

Изъ (1) и (2) получимъ:

$$h : h' = (1 + \alpha t) : (1 + \alpha t') ;$$

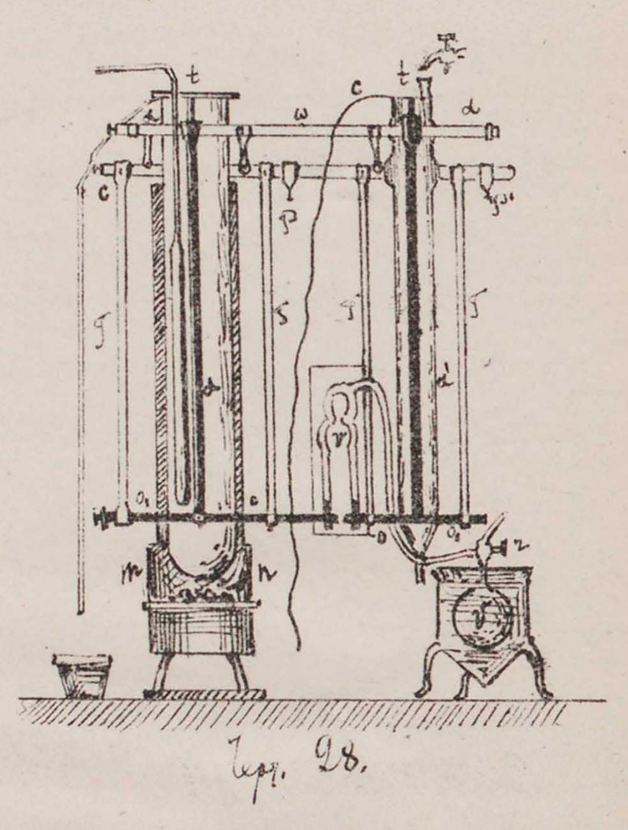
$$\alpha = \frac{h' - h}{ht' - th'}$$

Въ опытахъ Дюлонга t было равно 0°; средній коэффиціентъ ртути расширенія между 0° и 100° по его опредѣленіямъ равенъ $\frac{1}{5500}$ = 0,00018018; отъ 0° до 200° средній коэффиціентъ равенъ 0,00018433; между 0° и 300° коэффиціентъ равенъ = 0,00018868.

Изъ этихъ чиселъ видно возрастаніе коэффиціента расширенія съ температурой.

Въ новѣйшее время Реньо также занимался опредѣленіемъ коэффиціента расширенія ртути. Основное начало, принятое Дюлонгомъ и нѣкоторыя части его прибора были приняты и Реньо въ его опытахъ.

Чертежъ 28 изображаетъ приборъ Реньо. Ртуть налита въ желѣзныхъ трубкахъ ta и ta', имѣющихъ длину до 1,5 метра, соединяющихся наверху посредствомъ горизонтальной желѣзной же трубки αα, имѣющей посрединѣ наверху маленькое отверстіе ω. Нижнія части вертикальныхъ трубокъ ta и ta' соединяются съ горизонтальными трубками OO' и OO'. На ихъ концахъ O и O вставлены вертикальныя стеклянныя трубочки, которыя посредствомъ свинцовыхъ трубочекъ v соединяются между собою и съ металлическимъ шаромъ V, сообщающимся съ нагнетательнымъ насосомъ, посредствомъ отдѣльной трубки ч. Если воздуху шара V сообщена упругость нѣсколько менѣе двухъ атмосферъ, то въ стеклянныхъ трубкахъ при O, O (ниже V) будутъ держаться столбики ртути небольшой высоты, которую измѣряютъ катетометромъ, считая отъ горизонтальной линіи, проходящей по оси трубокъ OO', OO'. Наверху въ трубкахъ

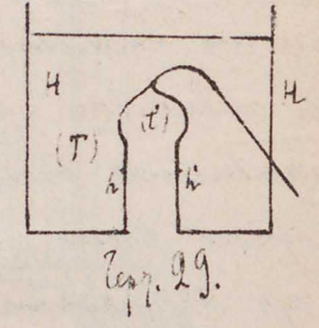


Чер. 28.

t, t находятся небольшие столбики ртути; въ точкѣ ω выступаетъ капля ртути, которая вслѣдствіе выпуклой формы уравновѣшиваетъ давленіе, производимое столбиками t, t находящимися въ равновѣсіи между собою, какъ сообщающіеся горизонтальною трубкою ææ. Затѣмъ остаются давящіе внизъ столбы, которыхъ высота есть aa', заключающаяся между горизонтальными линіями, проходящими по осямъ трубокъ ææ и OO'. Трубки со ртутью помѣщены въ широкія желѣзныя трубки; изъ нихъ лѣвая (по чертежу) наполнена масломъ, которое нагрѣвается печью mn, правая же трубка наполнена холодною водою, безпрестанно притекающею чрезъ воронку изъ резервуара. Излишекъ воды, стекая чрезъ край и по сифону c, охлаждаетъ нѣкоторыя другія части прибора. Весь приборъ поддерживается желѣзнымъ брускомъ CP, который можетъ вращаться на оси c, вдѣланной въ каменную стѣну; кольца P, P, въ которыхъ свободно лежитъ брусъ, также вдѣланы въ стѣну; винты, находящіеся въ P служатъ для приведенія бруса въ горизонтальное положеніе, посредствомъ движенія четырехъ подставокъ, соединяющихъ ее съ PP,; между c и P находится желѣзное кольцо, обхватывающее желѣзный цилиндръ съ масломъ. Подобнымъ образомъ и нижнія трубки, поддерживаемыя желѣзными стержнями T, приводятся въ горизонтальное положеніе, соотвѣтственными приспособленіями. Въ масло погруженъ резервуаръ воздушнаго термометра, котораго манометръ не изображенъ на чертежѣ; избытокъ масла можетъ стекать по отводной трубкѣ.

Лит. А. Ф. Маркова. Невскій 34.

Въ другомъ желѣзномъ цилиндрѣ помѣщено сбоку нѣсколько ртутныхъ термометровъ, показывающихъ температуру холодной воды. Для сообщенія одинаковой температуры различнымъ частямъ нагрѣтаго масла служитъ особаго рода мѣшалка. Для болѣе удобнаго пониманія измѣреній и вычисленій, которыя необходимо сдѣлать, обратимся къ чертежу 29, гдѣ схематически изображены трубки, содержащія въ себѣ ртуть. Назовемъ H - разстояніе между осями горизонтальныхъ трубокъ, T и t - температуры теплаго и холоднаго столбовъ ртути; пусть h и h' будутъ высоты малыхъ столбиковъ, въ стеклянныхъ трубкахъ находящихся при температурѣ t'. Для составленія уравненія равновѣсія столбовъ холоднаго и теплаго надо привести ихъ вычисленіемъ къ температурѣ 0°; высоты обоихъ столбовъ должны считаться равными послѣ этого приведенія. Для приведенія какой нибудь высоты столба къ 0° надо ее раздѣлить на двучленъ вида $1+\alpha t$, въ которомъ α означаетъ средній коэффиціентъ расширенія ртути и t - температуру столба. Высоты теплаго и холоднаго столбовъ будутъ:



Черт. 29.

$$\frac{H}{1+\alpha T} - \frac{h}{1+\alpha_1 t'} = \frac{H}{1+\alpha_1 t} - \frac{h'}{1+\alpha_1 t'} ;$$

Зная H, h, h', T, t', t, не трудно опредѣлить α, если считать всѣ α одинаковыми. Но средній коэффиціентъ не одинаковъ во всѣхъ предѣлахъ. Поэтому, если желаютъ большей точности, то приравнивая эти два выраженія и вставляя величину α, найденную Дюлонгомъ во всѣ члены

кромѣ перваго, какъ содержащаго наибольшій множитель T, надо вычислить α; затѣмъ изъ найденныхъ величинъ α (различныхъ въ ряду опытовъ) находятъ интерполированіемъ $\alpha_{,}$ и $\alpha_{,,}$, вставляютъ ихъ опять во всѣ члены кромѣ перваго и повторяютъ вычисленіе.

Кромѣ этого способа наблюденія Реньо употреблялъ другой совершенно сходный съ методомъ Дюлонга; для этого горизонтальныя трубки OO' и OO' соединялись внизу желѣзною трубкою, а трубка $\alpha\alpha$ раздѣлялась въ серединѣ пополамъ. Новый коэффиціентъ Реньо 0,00018153 между 0° и 100°, т. е. болѣе коэффиціента 0,00018018, найденнаго Дюлонгомъ.

Расширеніе жидкостей

Вода и другія жидкости.

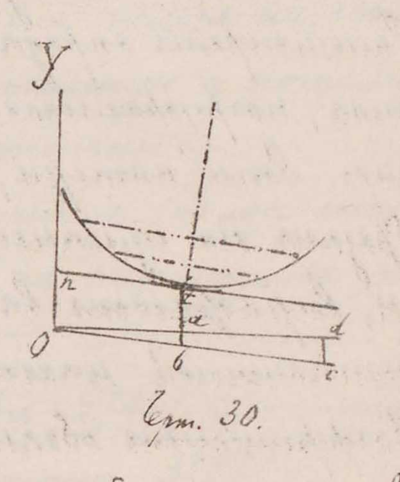
Около 1670 г. флорентійскіе академики открыли замѣчательныя свойства воды, по которому она расширяется при охлажденіи между извѣстными предѣлами, однако только въ концѣ XVIII столѣтія было точнымъ образомъ доказано, что вода имѣетъ наибольшую плотность около 4°. Гопе придумалъ для этой цѣли форму опыта; его приборъ состоитъ изъ высокаго стекляннаго цилиндра, сквозь стѣнки котораго въ различныхъ мѣстахъ пропущены ртутные термометры. На среднюю часть стакана надѣваютъ кольцеобразный сосудъ, въ который кладутъ ледъ, или охладительную смѣсь, въ стаканъ же наливаютъ воду. Если ея первоначальная температура была

напримѣръ +12°, то увидимъ, что по мѣрѣ охлажденія слои болѣе холодные опускаются внизъ, что и видно изъ показаній термометра. Въ такомъ порядкѣ происходитъ явленіе, пока температура нижняго слоя не достигнетъ 4°; съ дальнѣйшимъ охлажденіемъ слои въ 3°, 2° и т. д. до 0° располагаются одинъ подъ другимъ — холоднѣйшій наверху.

Этимъ путемъ Гопе нашелъ, что наибольшая плотность воды наступаетъ при 4°,35. Траллесъ опредѣлилъ ее въ 4°, а Румфордъ, наблюдая подобнымъ же образомъ нашелъ 4°,44.

Точныя опредѣленія температуръ, соотвѣтствующихъ наибольшей плотности и другимъ плотностямъ или объемамъ, вообще дѣлаются или способомъ термометреннымъ, или на основаніи закона Архимеда, опредѣляя потерю части вѣса твердаго тѣла, погруженнаго въ жидкость или же наконецъ взвѣшиваніемъ жидкости въ склянкѣ опредѣленной емкости. Депре наполнялъ чистою водою два термометра, для которыхъ предварительно былъ опредѣленъ коэффиціентъ расширенія стекла и погружалъ ихъ въ сосудъ съ водою, помѣщая между ними ртутный термометръ. Отношеніе емкости дѣленій трубки къ емкости резервуара было опредѣлено. Сосудъ ставился въ охладительную смѣсь или въ ванну теплой воды и затѣмъ наблюдались показанія термометровъ. Наблюдаемые по числу дѣленій объемы воды были потомъ нанесены какъ ординаты (въ системѣ прямоугольныхъ координатъ) на листъ бумаги (черт. 30); абсциссы означали температуры ртутнаго термометра. Проведя затѣмъ линіи черезъ верхнія

оконечности ординатъ, Депре получилъ близкую къ параболѣ кривую линію, которая выражала законъ измѣненія кажущихся объемовъ воды при температурахъ близкихъ къ точкѣ наибольшей плотности. Положимъ, что od есть абсцисса, соотвѣтствующая температурѣ $t°$.



Чт. 30.

Для опредѣленія измѣненій истинныхъ объемовъ воды надо къ кажущимся объемамъ прибавить приращенія объемовъ стекла, которыя допускаются пропорціональными приращеніямъ температуры, между недалекими предѣлами, въ которыхъ заключается кривая. Поэтому откладываемъ на перпендикулярѣ къ точкѣ d линію dc, выражающую расширеніе стекла при нагрѣваніи его отъ 0° до $t°$ и проводимъ прямую obc, которая и будетъ выражать законъ измѣненія емкости стекляннаго шарика. Истинные объемы воды будутъ измѣряться длиною линій, параллельныхъ OY считая длины отъ линіи Oc. Проведя касательную къ параболѣ (параллельно линіи Oc) находятъ точку прикосновенія t; линія tb, параллельная OY, пересѣкаетъ линію od въ точкѣ a. Для болѣе точнаго нахожденія точки касанія t проводятъ нѣсколько хордъ параболы параллельно Oc; точка t будетъ лежать на линіи, соединяющей средины этихъ хордъ. Длина линіи Oa есть температура, соотвѣтствующая наименьшей ординатѣ, т. е. наименьшему объему и наибольшей плотности. Депре опредѣлилъ

эту температуру въ 4°. Кромѣ того, онъ опредѣлилъ измѣненіе объемовъ воды отъ −9° до +100°.

Гальштремъ опредѣлялъ потерю въ вѣсѣ стеклянного шарика, погружаемаго въ воду при различныхъ температурахъ. Эти потери, поправленныя соотвѣтственнымъ образомъ на измѣненіе объема шарика отъ температуры, выражаютъ вѣса воды различныхъ температуръ, вытѣсненной нѣкоторымъ постояннымъ объемомъ.

Коэффиціентъ объемнаго расширенія стекла былъ опредѣленъ изъ линейнаго коэффиціента; лучше было бы опредѣлить его непосредственно. Гальштремъ опредѣляетъ температуру наибольшей плотности въ 4°,1; разность въ 0°,1 сравнительно съ результатомъ Депре происходитъ можетъ быть отъ неточности способа, употребленнаго Гальштремомъ для опредѣленія коэффиціента расширенія стекла.

Матиссенъ, принимая объемъ воды при 4° за единицу, опредѣлялъ объемы воды того же вѣса при другихъ температурахъ, по способу Гальштрема, употребляя для погруженія въ воду стеклянный клинъ вмѣсто шарика; опредѣленія Матиссена относятся къ температурамъ выше 4°.

Вода, охлажденная въ термометренной трубкѣ, не обращается въ ледъ при температурахъ гораздо ниже 0°. При этомъ вода продолжаетъ расширяться съ пониженіемъ температуры, какъ показываютъ наблюденія Депре, Вейднера и Пьерра.

Опредѣленіе точки наибольшей плотности воды и дру-

гихъ величинъ, сюда относящихся, составляетъ весьма важный вопросъ наблюдательной физики. Не смотря на множество сдѣланныхъ до сихъ поръ измѣреній нельзя ни одну таблицу объемовъ считать за окончательную и потому дальнѣйшія опредѣленія весьма желательны.

Помѣщаемъ въ заключеніе нѣсколько чиселъ, опредѣляющихъ точку наибольшей плотности воды по различнымъ наблюдателямъ:

Депре 4°; Гальштремъ 4°,1; Коппъ 4°,08; Россетти 4°,07; Франкенгеймъ 3°,86; Гильпинсъ и Благденъ 3°,87.

Морская вода, по опытамъ Депре, представляетъ точку наибольшей плотности при −3°,67.

Вообще водные растворы солей имѣютъ наибольшую плотность, какъ напр. растворы поваренной соли, соды, поташа, сѣрно-кислаго натра и т. д. Температура, соотвѣтствующая наибольшей плотности, зависитъ не только отъ вещества, но и отъ количества ея, находящагося въ растворѣ. Обыкновенно также температура замерзанія раствора находящагося въ движеніи, выше точки его наибольшей плотности. Термометрическій способъ опредѣленія коэффиціента расширенія жидкостей излагается въ „Тепловыхъ измѣреніяхъ". Этотъ способъ наиболѣе употребителенъ, первый же гидростатическій неудобопримѣнимъ къ большинству жидкостей, то по причинѣ паровъ, которые онѣ даютъ, то по причинѣ поглощенія ими паровъ воды изъ воздуха. Въ „Тепловыхъ измѣреніяхъ" выведена формула:

$$\left(V_0 + \frac{tv}{100}\right)(1 + k_1 t) = V_0 (1 + \delta_1 t),$$

гдѣ V_0 есть емкость шарика при 0°, v_0 – емкость трубочки между постоянными точками шкалы, k_t – среднiй коэффицiентъ расширенiя стекла, принимаемый общимъ для шарика и трубки и наконецъ δ_t – среднiй коэффицiентъ расширенiя ртути.

Бiо показалъ, что расширенiе жидкостей не можетъ считаться пропорцiональнымъ температурѣ, но всегда выражается формулами:

$$\delta_t = at + bt^2 + ct^3,$$

гдѣ a, b, c, – нѣкоторые постоянные коэффицiенты для каждой жидкости – положительные либо отрицательные. Что касается другихъ жидкостей кромѣ воды и ртути, то, хотя Томсонъ и замѣтилъ, что наибольшiе коэффицiенты расширенiя принадлежатъ жидкостямъ, кипящимъ при низкихъ температурахъ, но это правило во многихъ случаяхъ оказывается невѣрнымъ. Изъ всѣхъ жидкостей наиболѣе расширяется отъ теплоты альдегидъ, точка его кипѣнiя есть 22°. Изъ всѣхъ жидкостей, сколько понынѣ извѣстно, ртуть наиболѣе удобна для термометрiи между прочимъ и потому, что коэффицiентъ расширенiя ртути подверженъ лишь слабымъ измѣненiямъ между предѣлами температуръ 0° и 100°. Ньютонъ употреблялъ для своихъ термометровъ льняное масло и онъ первый выбралъ постоянными точками температуры кипѣнiя воды и таянiя льда, раздѣляя промежутокъ между ними на 34°. Делюкъ, сравнивая ходъ термометровъ ртутнаго, оливковаго масла, спиртового и нѣкоторыхъ другихъ жидкостей нашелъ,

что законъ расширенія оливковаго масла болѣе подходитъ къ ртутному, чѣмъ другіе; различіе между показаніями термометровъ ртутнаго и масляннаго не превосходили одного градуса.

Тѣла, находящіяся подъ сильнымъ давленіемъ, могутъ быть удержаны въ жидкомъ состояніи выше точки кипѣнія ихъ при нормальныхъ условіяхъ. Опыты Тилорье, Бодримона, въ особенности Дріона, показали, что коэффиціенты расширенія жидкостей возрастаютъ быстро съ температурой и могутъ сдѣлаться не только равными, но даже превзойти коэффиціентъ расширенія воздуха.

Жидкости, происходящія изъ газовъ, подверженныхъ весьма сильному давленію, сохраняютъ свое состояніе только въ трубкахъ, герметически запаянныхъ. Нагрѣваніе увеличиваетъ чрезвычайно сильно ихъ объемъ. Гирнъ устроилъ приборъ, въ которомъ жидкость находилась подъ давленіемъ ртутнаго столба, высотою въ 10,5 метровъ; мѣдный цилиндръ, въ которомъ помѣщалась жидкость, имѣлъ почти 8 литровъ емкости. При нагрѣваніи мѣднаго сосуда жидкость расширялась и переходя по соединительной трубкѣ въ другой сосудъ железный вытѣсняла ртуть, тамъ находившуюся, которая в ступала въ манометръ, соединенный съ этимъ сосудомъ и наполненный до верху ртутью. Вслѣдствіе этого избытокъ ртути выливался изъ верхней части манометра, а жидкость всегда оставалась подъ давленіемъ 10,5 метровъ. Этотъ приборъ Гирна по формѣ сходенъ съ вѣсовымъ

термометромъ. Въ числѣ испытанныхъ Гирномъ жидкостей находилась и вода; при нагрѣваніи ея до 165° вытекало 5871 граммъ ртути изъ прибора, что и даетъ понятіе о его размѣрахъ. Вычисленія показали, что расширеніе воды и спирта при высокихъ температурахъ весьма велико; къ подобнымъ же результатамъ приводятъ числа, относящіяся къ сѣроуглероду, терпентинному маслу, изслѣдованнымъ Гирномъ. Наблюденія Менделѣева показали также, что жидкости подъ высокими давленіями расширяются такъ сильно какъ газы, какъ напр. эфиръ при 133°. Коэффиціентъ расширенія эфира достигаетъ величины 0,0054 (на 1°) при температурѣ около 130°

Расширеніе газовъ.

Лапласъ, основываясь на теоретическихъ соображеніяхъ полагалъ, что газы имѣютъ одинаковый коэффиціентъ расширенія; по его просьбѣ Ге-Люссакъ произвелъ рядъ опытовъ, показавшихъ, что при нормальномъ давленіи газы расширяются на 0,375 первоначальнаго объема при увеличеніи температуры отъ 0° – 100°.

Въ тоже самое время и Дальтонъ опредѣлилъ показатель расширенія воздуха въ 0,372, замѣтивъ однако, что съ возвышеніемъ температуры объемъ воздуха увеличивается въ меньшемъ отношеніи, чѣмъ объемъ ртути. Позднѣе Дюлонгъ и Пти получили тотъ же коэффиціентъ для различныхъ газовъ и показали, что газы расширяются одинаково до температуры 300° по ртутному термометру.

Предполагая коэффиціентъ расширенія газа постояннымъ, они нашли, что показаніе ртутнаго термометра при 300° воздушнаго было слишкомъ на 8° выше показанія термометра воздушнаго и тѣмъ подтвердили заключенія Дальтона.

Въ новѣйшее время оказалось, что законъ Ге-Люссака не можетъ быть признанъ абсолютно вѣрнымъ. Приборъ Ге-Люссака былъ не что иное, какъ термометръ, горизонтально положенный и наполненный послѣдовательно различными газами; въ термометренной трубкѣ находилась капля ртути, которая служила указателемъ расширенія газа. Треніе этой капли о стѣнки трубки ограничивало чувствительность этого прибора, а также трудно допустить, что капля запирала собою воздухъ герметически; вдобавокъ средства употребленныя Ге-Люссакомъ для высушиванія воздуха не были достаточны. Самые полные опыты надъ расширеніемъ газовъ произвелъ Реньо; мы остановимся исключительно на его работахъ; при этомъ необходимо замѣтить, что опыты Рудберга предшествовали опытамъ Реньо съ пользою для этихъ послѣднихъ, представляя методы, которыми отчасти воспользовался Реньо. — Реньо употреблялъ нѣсколько способовъ, изъ которыхъ назовемъ здѣсь два. По

одному способу газъ, нагрѣваемый въ стеклянномъ резервуарѣ, сообщенномъ съ манометромъ, удерживается при постоянномъ кажущемся объемѣ, посредствомъ усиленнаго на газъ давленія (усовершенствованіе способа Рудберга). Приборъ, служащій для опредѣленій по этому способу, описывается въ „Тепловыхъ измѣреніяхъ" подъ названіемъ воздушнаго термометра. Формула вида —

$$\left[V\frac{1+kx}{1+\alpha x}+v\frac{1+kt'}{1+\alpha t'}\right]:\left[V+v\frac{1+kt}{1+\alpha t}\right]=H:(H'+h)$$

служила для опредѣленія температуры среды — x. Если наоборотъ температура x извѣстна, то изъ того-же уравненія можно опредѣлить α — коэффиціентъ расширенія газа. Приборъ въ самомъ началѣ наполняютъ высушеннымъ газомъ; для высушиванія употребляютъ двѣ или три трубки, имѣющія видъ опрокинутаго сифона и наполненныя пемзой или стекломъ, смоченными сѣрной кислотой или инымъ поглощающимъ воду веществомъ. Эти трубки соединены между собою; свободный конецъ одной соединенъ съ разрѣжающимъ ~~насосомъ~~, другой — съ трубочкою p (чертежъ 9 „Теплов. изм.")

Воздухъ въ приборѣ разрѣжаютъ и впускаютъ потомъ туда сухой воздухъ, или иной газъ; это дѣйствіе повторяютъ разъ пять-

надцать, и тогда, запаявъ трубку p, начинаютъ наблюденія и измѣренія. Сначала удерживаютъ газъ резервуара при 0°, а потомъ при температурѣ кипѣнія воды, или при высшей, употребляя ванну нагрѣтаго масла.

Этотъ приборъ допускаетъ и другой родъ наблюденій, въ которомъ упругость воздуха не измѣняется и онъ свободно расширяется. Въ началѣ опытовъ окружаютъ резервуаръ газа льдомъ или снѣгомъ и, выпуская ртуть или приливая ее, приводятъ предѣлы между газомъ и ртутью къ чертѣ α; затѣмъ, удерживая резервуаръ въ парахъ кипящей воды, выпускаютъ ртуть, пока давленіе ртути на воздухъ не будетъ равно прежнему. Положимъ, что ртуть при этомъ дойдетъ до черты β. Во всякомъ случаѣ замѣчаютъ высоту барометра H и H' въ обоихъ наблюденіяхъ и давленія ртутнаго столба h и h', которыя могутъ нѣсколько различаться между собою.

Назовемъ емкость шара при 0° черезъ V_0, трубочки и части манометра до черты α черезъ v_0, и емкость части манометра $\alpha\beta$ черезъ W_0; руководствуясь тѣми-же соображеніями, какъ и въ первомъ способѣ, Рено получилъ уравненіе для опредѣленія неизвѣстнаго коэффиціента y:

$$\left(V_0 + v_0\frac{1+\delta t}{1+\gamma t}\right)(H+h) = \left[V_0\frac{1+\delta T}{1+\gamma T} + (v_0+W)\frac{1+\delta t}{1+\gamma t}\right](H'+h')$$

Здѣсь T означаетъ температуру резервуара при второмъ наблюденіи, t — температуру воды, окружающей манометръ и δ — коэффиціентъ расширенія стекла. Изъ наблюденій Реньо оказалось, что коэффиціентъ расширенія воздуха /на 100°/ при постоянномъ объемѣ составляетъ 0,3665, а при постоянномъ давленіи /равномъ одной атмосферѣ/ 0,3670. Это различіе результатовъ должно быть приписано неполной точности закона Маріотта, принимаемаго въ основаніе вычисленій коэффиціента при постоянномъ объемѣ, одинаково какъ при 0°, такъ и при 100°.

Изъ дальнѣйшихъ опытовъ Реньо обнаружилось, что коэффиціентъ расширенія воздуха значительно возрастаетъ съ его упругостью; такъ при давленіи въ 3,3 атмосферы коэффиціентъ расширенія равенъ 0,36944.

Впослѣдствіи эти наблюденія, перечисленныя на нынѣ принимаемое нормальное давленіе 760 mm. и соотвѣтствующую ему температуру кипѣнія — 100° (вмѣсто прежнихъ 28 пар. дюйм. чему соотвѣтствуетъ нѣсколько низшая температура /. дали слѣдующіе результаты:

воздуха 0,0036706 } коэффиціенты рас-
водорода 0,0036613 } ширенія при посто-
углекислоты — 0,0037099 } янномъ давленіи.

Приборъ, которымъ Реньо пользовался для опредѣленія коэффиціента расширенія воздуха въ другомъ случаѣ состоитъ изъ стекляннаго шара R (чертежъ 31), стеклянной трубки съ расширеніемъ ч по срединѣ, имѣющимъ правильную цилиндрическую форму и станочка, служащаго для поддерживанія шарика съ трубкой. Приборъ наполняютъ сухимъ газомъ, потомъ помѣщаютъ въ пары кипящей воды и конецъ трубки запаиваютъ; послѣ того снова ставятъ приборъ на прежнее мѣсто и обкладываютъ льдомъ. Надо ожидать значительное время, пока воздухъ приметъ температуру 0°, потому что объемъ шарика доходитъ до 400 куб. сант. Потомъ отламываютъ оконечность трубки подъ ртутью, вслѣдствіе чего ртуть поднимается. Для измѣренія высоты ртутнаго столба употребляется слѣдующій способъ: винтикъ в или о опускается до прикосновенія нижнимъ концомъ къ поверхности ртути, послѣ чего измѣряется разстояніе отъ вершины винта или другой опредѣленной его точки до уровня ртути

Черт. 31.

въ ~ по вертикальной линіи.

Прибавляя къ этому разстоянію длину всего винта, получаемъ высоту ртутнаго столба надъ уровнемъ ртути въ чашкѣ. Положимъ, что $в$ — есть высота ртути при 0°, B' — высота барометра въ этотъ моментъ и B — высота барометра въ моментъ запаиванія конца трубки.
Черезъ P и P' назовемъ вѣсъ ртути, наполняющей весь приборъ при 0° и вѣсъ ртути, поднятой въ положеніи прибора, изображенномъ на чертежѣ. Пусть коэффиціентъ расширенія воздуха есть α, коэффиціентъ стекла k, T — температура паровъ, тогда:

$$(P-P')(1+\alpha T)\frac{B'-в}{B}$$

изображаетъ объемъ газа при температурѣ T и давленіи B; эта величина равна емкости стекляннаго шарика и трубки при температурѣ T, т. е. $P(1+kT)$. Такимъ образомъ имѣемъ уравненіе для опредѣленія α. Здѣсь взяты вѣса ртути вмѣсто объемовъ, такъ-какъ одни другимъ пропорціональны.

Коэффиціентъ расширенія воздуха на 100°, найденный по этой методѣ составляетъ 0,36693.
Выше было сказано, что коэффиціентъ расширенія воздуха увеличивается съ увеличеніемъ давленія, производимаго на воздухъ; подобный-же резуль-

татъ былъ найденъ и для другихъ газовъ. Различная расширяемость газовъ обнаруживается нагляднымъ образомъ изъ слѣдующаго опыта Реньо.

Представимъ себѣ манометръ, состоящій изъ трехъ трубокъ h, h' и t (черт. 32^ой^); двѣ первыя загнуты въ точкахъ B и B' и сообщаются со стеклянными шарами, содержащими одинъ — углекислоту, а другой — воздухъ; когда они удержаны при температурѣ 0°, ртуть должна стоять на одномъ уровнѣ OO по крайней мѣрѣ въ двухъ трубкахъ Bh и B'h' вслѣдствіе равенства въ нихъ упругости. Повышая затѣмъ температуру резервуаровъ, надо приливать ртути въ трубку t, чтобы привести воздухъ, содержащійся, положимъ, въ шарѣ, сообщенномъ съ трубкой Bh, опять до черты O. При этомъ оказывается, что ртуть въ трубкѣ съ углекислотой, останавливается у черты — β ниже уровня OO, что и служитъ доказательствомъ большей расширяемости углекислоты.

Черт. 32.

Такъ какъ по опытамъ Реньо, разность между коэффиціентами расширенія газовъ уменьшается по мѣрѣ уменьшенія давленія на газы, то изъ этого заключаютъ, что можетъ существовать такое состояніе ихъ, при которомъ коэффиціентъ расширенія будетъ одинъ и тотъ же для всѣхъ; предполагаютъ еще, что этотъ коэффи-

Лит. А. Ф. Маркова, Невскій, 34.

ціентъ постояненъ, т.е., что увеличеніе объема газа приблизительно на $\frac{1}{273}$ его объема при 0° означаетъ приращеніе температуры газа на 1°. Этотъ законъ расширенія нѣкотораго идеальнаго газа называется закономъ Ге-Люссака.

Перемѣна состоянія тѣлъ отъ теплоты. Температура тѣлъ при отвердѣваніи и плавленіи.

Скрытая теплота.

При переходѣ жидкаго тѣла въ твердое состояніе вслѣдствіе охлажденія замѣчается наступленіе температуры, которая остается постоянною во все время отвердѣванія жидкости; и при обратномъ переходѣ изъ твердаго состоянія въ жидкое наступаетъ та же самая температура постоянная. Это явленіе наблюдается въ нѣкоторыхъ случаяхъ легко, какъ напримѣръ при таяніи льда, въ другихъ же случаяхъ постоянной температуры какъ-бы не существуетъ, а именно для тѣхъ тѣлъ, которыя размягчаются до плавленія.

Явленіе постоянства точекъ плавленія и отвердѣванія, на которое въ первый разъ указалъ Ньютонъ, объясняется нынѣ тѣмъ, что въ первомъ случаѣ поглощается теплота, которая производитъ внутреннюю работу разъединенія частицъ,

безъ измѣненія температуры, т.е. живой силы насъ движенія; во второмъ случаѣ выдѣляется теплота, препятствующая дальнѣйшему пониженію температуры; слѣдовательно, внутренняя работа, производящая сцѣпленіе частицъ, менѣе прежней, а потому часть работы обращается въ теплоту. Извѣстенъ опытъ, въ которомъ вода можетъ быть охлаждена до $-10°$; если сообщить сильный толчекъ водѣ, достигнувшей такой температуры, то часть воды обращается въ ледъ, имѣющій температуру $0°$, и выдѣляющаяся при этомъ теплота нагрѣваетъ остальную воду отъ $-10°$ до $0°$. Теплота, выдѣляющаяся при отвердѣваніи жидкаго тѣла или поглощаемая при обращеніи твердаго тѣла въ жидкое названа Блекомъ скрытою теплотою.

Онъ первый измѣрилъ приблизительно скрытую теплоту таянія льда, по различнымъ способамъ, и выразилъ её числомъ, которое мало отличается отъ принятаго впослѣдствіи результата позднѣйшихъ опытовъ.

Этими измѣреніями занимались еще Лавуазье и Лапласъ, но точныя опредѣленія новѣйшаго времени принадлежатъ Провосте и Десену, Реньо, Персону. Первые два наблюдателя опускали въ водяной калориметръ

кусокъ льда находившійся до последняго момента въ бумагѣ вбиравшей въ себя воду. Наблюдая охлажденіе калориметра и его кислую температуру, и принимая во вниманіе потерю теплоты калориметромъ Провосте и Десенъ нашли число 79,01 для скрытой теплоты таянія льда.

Ренбо также опредѣлилъ по способу смѣшенія это число въ 79,01.

По наблюденіямъ Персона скрытая теплота таянія льда есть число – 79,25, если опытъ начинается отъ 0°; но если кусокъ льда имѣлъ въ началѣ опыта температуру ниже 0°, напримѣръ – 5°, то для приведенія его къ температурѣ 0° нужно кромѣ той теплоты, которая расчитана по теплоемкости льда, еще одна единица теплоты.

Теплоемкость льда равняется 1/2, если за единицу принять, какъ всегда теплоемкость воды. Одинъ килограммъ льда требуетъ для перехода отъ – 5° до – 2° полторы единицы теплоты; для перехода же отъ – 2° до 0° требуется двѣ единицы теплоты вмѣсто одной, какъ слѣдовало бы ожидать.

Такимъ образомъ требуется лишняя единица теплоты, которая, по мнѣнію

Персона, служитъ для размягченія льда, предшествующаго его таянію. Принимая это въ соображеніе, Персонъ прибавляетъ къ 79 еще единицу и потому полагаетъ всю скрытую теплоту плавленія при сказанныхъ условіяхъ въ 80,25 единицъ.

Скрытая теплота многихъ другихъ тѣлъ была также предметомъ его изслѣдованій; наблюденія производились по способу смѣшенія. Вотъ главнѣйшіе результаты измѣреній Персона:

Тѣла.	Точки плавл.	Теплоемкость		Наблюден. скрыт. тепл.
		тверд.	жидк.	
Вода	0°	0,5040	1,000	79,25
Сѣра	115°	0,2026	0,2340	9,37
Селитра каліева	339°	0,2388	0,3319	47,37
Ртуть	−39°	—	0,0333	2,83
Висмутъ	266°,8	0,0308	0,0363	12,64

Извѣстно, что многія жидкости въ томъ числѣ и вода, могутъ быть охлаждены значительно ниже нормальной температуры отвердѣванія, оставаясь жидкими. Вода охлажденная до −10° переходитъ отъ сотрясенія вдругъ частію въ твердое состояніе и отдѣляетъ при

этомъ теплоту, которая нагрѣваетъ незамерзшую часть воды отъ -10° до -0°.

Прибавленіе растворимыхъ солей къ водѣ понижаетъ точку замерзанія тѣмъ значительнѣе, чѣмъ большее количество соли входитъ въ растворъ. Но замерзаетъ вообще чистая вода, а соль выдѣляется; это явленіе происходитъ въ природѣ въ большомъ видѣ на ледовитыхъ моряхъ, гдѣ на ледяныхъ поляхъ находятъ кучки выдѣлившейся соли.

Составленіе охладительныхъ смѣсей основано на томъ, что два смѣшанныя тѣла [. напримѣръ - снѣгъ и поваренная соль]. или одно изъ нихъ [. азотная кислота и снѣгъ .]. переходятъ изъ твердаго состоянія въ жидкое, поглащая при этомъ теплоту изъ окружающихъ тѣлъ.

Рудорфъ показалъ, что наибольшее охлажденіе при смѣшеніи снѣга съ какою нибудь солью, получается въ такомъ случаѣ, если оба тѣла взяты въ количествѣ, необходимомъ для полученія насыщеннаго

раствора при этой низкой температурѣ, которая не можетъ быть ниже точки замерзанія упомянутаго раствора.

Непосредственныя опредѣленія точки замерзанія доказываютъ вѣрность заключенія Рудорфа.

Если коэффиціентъ растворимости соли при нѣкоторой температурѣ извѣстенъ, также измѣніе его въ зависимости отъ температуры и еще пониженіе точки замерзанія воды отъ прибавленія къ ней одного грамма испытываемой соли, то можно вычислить точку замерзанія насыщеннаго раствора, а слѣдовательно и низшую температуру, до которой можетъ достигнуть охладительная смѣсь изъ снѣга и изъ испытываемой соли.

Если P граммовъ соли растворяются въ 100 граммахъ воды при t°, если a обозначаетъ количество соли, на которое измѣняется количество P при измѣненіи температуры на 1°, а $\underline{b}$ — есть пониженіе точки замерзанія происходящее при вышеизложенныхъ условіяхъ, то озна-

чая через T число градусовъ, на которое отстаетъ точка замерзанія отъ t, имѣемъ

$$T = \frac{t - bP}{1 - ab}.$$

Помѣщаемъ здѣсь табличку различныхъ охладительныхъ смѣсей по Рудорфу:

	На 10 частей смѣси со снѣгомъ при 0°	Темпер. смѣси.	Точка замерз.
Сода	20	−2	−2
Селитра каліева	13	−2,85	−2,85
Селитра натров. ...	50	−17,75	−17,75
Поваренная соль ...	33	−21,3	−21,3.

Излишекъ соли неизмѣняетъ чувствительно температуры охлажденія, по причинѣ вообще малой теплоемкости соли, но постоянная температура при избыткѣ соли не будетъ такъ продолжительна какъ въ нормальной смѣси;

достаточное пониженіе температуры обращаетъ всякую жидкость въ твердое тѣло за исключеніемъ алкоголя; впрочемъ Депре, охлаждая алкоголь смѣсью жидкой закиси азота, твердой углекислоты и эфира, довелъ его до такой степени густоты, что онъ не вытекалъ изъ стклянки при ея наклоненіи.

Ртуть до 1759 года бы извѣстна только въ жидкомъ состояніи; Браунъ первый обратилъ её въ твердое состояніе посредствомъ охладительной смѣси изъ снѣга и азотной кислоты.

Подобнымъ образомъ всякое твердое тѣло обращается при достаточномъ возвышеніи температуры въ жидкость, если только оно не разлагается прежде этого на составныя части.

Платину въ настоящее время умѣютъ плавить въ значительныхъ количествахъ; всѣ другія огнеупорныя тѣла, напр. боръ, кремній, также могутъ быть расплавлены, хотя въ небольшомъ количествѣ, гальваническимъ токомъ. Депре достигъ наибольшаго возвышенія температуры, помѣщая испытываемое тѣло въ фокусѣ большого выпуклаго стекла и направ-

ляя на тѣло струю гремучаго газа и гальванический токъ баттареи въ 600 угольно-цинковыхъ элементовъ, заряженныхъ азотной кислотой. Теперь дѣлаются небольшіе переносные горны или тигли, въ которыхъ при помощи стержней кокса, служащихъ проводниками сильнаго тока и потому накаливающихся съ образованіемъ вольтовой дуги, можно плавить самыя тугоплавкія тѣла.

При употребленіи такихъ нагрѣвательныхъ средствъ даже уголь замѣтно размягчается, но въ видѣ жидкости никогда не былъ полученъ.

Опредѣленія температуръ очень высокихъ и очень низкихъ всегда сопровождается значительными неточностями. Поэтому числа прилагаемой таблицы должны быть принимаемы за приблизительныя.

Алкоголь около −130°		Фосфоръ	+40°
Сѣрный эфиръ	−90°	Стеарин. кис.	+70°
Амміакъ	−75°	Натрій	+90°
Ртуть	−39°	Калій	+58°
Ледъ	0°	Сѣра	+110°

Температура плавленія тѣлъ зависитъ отъ давленія, которому они въ то время подвержены.

Во всѣхъ случаяхъ, которые до сихъ поръ были разсмотрѣны, давленіе принималось мало отличающимся отъ нормальнаго давленія атмосферы. Но точка плавленія и отвердѣванія перемѣщается весьма незначительно съ увеличеніемъ давленія, а именно, перемѣна в давлении въ 100$^{m.m}$ повліяетъ только на тысячныя доли градуса въ опредѣленіи точки отвердѣванія. Перемѣщеніе этой точки находится въ связи съ измѣненіемъ объема тѣлъ при отвердѣваніи.

Измѣненіе объема при отвердѣваніи и плавленіи.

Отвердѣваніе тѣлъ сопровождается обыкновенно ихъ сжатіемъ. Только шесть тѣлъ, какъ пока извѣстно, расширяются при отвердѣваніи: вода, сѣрная кислота съ 3 атомами воды, чугунъ, висмутъ, сурьма и сплавъ 1 части свинца, 1 части олова и 4 частей висмута (по Эрману). Ледъ, образуясь при охлажденіи воды, занимаетъ бо́льшій объемъ, чѣмъ вода, изъ которой онъ образовался, и производитъ сильное давленіе на стѣнки сосуда, если онѣ препятствуютъ ему расширяться. Толстыя чугунныя бомбы, желѣзныя трубки, наполненныя водою и герметически закупоренныя, разрываются при достаточномъ охлажденіи. Если же стѣнки сосуда могутъ выдержать давленіе, увеличивающееся съ охлаж-

деніемъ, потому что вода расширяется и ниже нуля, то ледъ не образуется; даже образовавшійся ледъ можетъ быть обращенъ весьма сильнымъ давленіемъ въ жидкое состояніе. Подобные опыты были сдѣланы Муссономъ: онъ охлаждалъ воду, находившуюся подъ сильнымъ давленіемъ, до -20° и, не смотря на сотрясенія, вода не замерзала. Давленіе, необходимое въ такомъ случаѣ, не могло быть опредѣлено, оно составляетъ, быть можетъ, нѣсколько тысячъ атмосферъ. Опыты Томсона показываютъ, что, доводя давленіе на поверхность воды до 16,8 атмосферъ, можно понизить точку отвердѣванія только на 0,129°. Подобно водѣ, и другія тѣла, расширяющіеся при отвердѣваніи, представляютъ явленіе пониженія точки отвердѣванія при увеличеніи давленія. Напротивъ, тѣла, сжимающіеся при отвердѣваніи, обнаруживаютъ обратное явленіе. Расплавленный спермацетъ, застывающій при 47°,7 подъ давленіемъ одной атмосферы, отвердѣваетъ по опытамъ Бунзена при 50°,5, если давленіе будетъ доведено до 150 атмосферъ; отвердѣваніе парафина при давленіи въ 1 атмосферу происходитъ при 46°,3, а при 100 атмосферахъ точка отвердѣванія есть 49°,9.

Для опытовъ Бунзена служила толстостѣнная стеклянная трубка abmn (черт. 33) съ расширенною частью bc, согнутая на подобіе

обратнаго сифона. Въ верхней части а находится воздухъ, ниже его — ртуть, также и въ нижней части трубки nтс; а въ части тп помѣщается кусочекъ парафину или спермацету, и конецъ п запаиваютъ.

Погружая трубку пт въ теплую воду, расплавляютъ парафинъ, а потомъ, охлаждая ее мало по малу, наблюдаютъ температуру отвердѣванія на термометрѣ, помѣщенномъ рядомъ съ частью тп. При этомъ погружаютъ сосудъ въ теплую воду такъ, чтобы большая или меньшая часть ртути, заключающаяся въ вс, могла расширяясь произвести на испытуемое тѣло значительное давленіе, величина котораго измѣряется сжатіемъ воздуха, запертаго въ ав. Для опредѣленія объема, занимаемаго тѣлами при отвердѣваніи, употребляются различные способы; одни непосредственно даютъ измѣненіе объема при переходѣ изъ одного состоянія въ другое, другіе служатъ для опредѣленія удѣльнаго вѣса тѣла, изъ чего опредѣляется и объемъ его при данныхъ условіяхъ. Бруннеръ опредѣляя потерю вѣса льда въ нефти, нашелъ его плот-

ность въ 0,118, слѣдовательно, объемъ льда = 1,089, если принять за единицу объемъ воды при 0°. Дюфуръ составлялъ спиртъ такой крѣпости, что ледъ, въ него погруженный, терялъ весь свой вѣсъ, и потомъ опредѣлялъ плотность спирта; такимъ образомъ найденный объемъ льда отличается отъ вышеприведеннаго числа едва въ четвертой десятичной. Вообще, удѣльный вѣсъ льда принимаютъ равнымъ 0,92. Коппъ для изученія образованія твердыхъ тѣлъ изъ жидкостей употреблялъ непосредственную методу опредѣленія, для которой ему служилъ слѣдующій простой приборъ. Трубку, наполняемую различными жидкостями, онъ закупоривалъ герметически пробкой, въ которую вставлялась очень узкая трубка a. Внутри резервуара B (черт. 34) помѣщалась стеклянная трубочка съ испытываемою жидкостью, которой отвердѣваніе желали наблюдать. Увеличеніе или уменьшеніе объема жидкости, при ея переходѣ въ твердое состояніе, сопровождалось повышеніемъ или пониженіемъ жидкости въ термометренной трубкѣ прибора. Изъ всѣхъ испытанныхъ тѣлъ — стеариновая кислота при плавленіи или при отвердѣваніи пре-

Черт. 34.

терпѣваетъ наибольшее измѣненіе, сжимаясь въ послѣднемъ случаѣ на 11%.

Кипѣніе и испареніе.

Нагрѣваемая жидкость можетъ увеличиваться въ объемѣ только до извѣстнаго предѣла, зависящаго отъ давленія, далѣе котораго она кипитъ и обращается въ паръ; во все время перехода въ парообразное состояніе жидкость удерживаетъ постоянную температуру, вообще одинаковую съ температурой пара. Объемъ пара очень великъ, сравнительно съ объемомъ самой жидкости изъ которой онъ образуется. Если составъ жидкости не измѣняется во время кипѣнія, то температура ея кипѣнія при постоянномъ давленіи на жидкость тоже будетъ постоянна. Съ увеличеніемъ или уменьшеніемъ давленія температура кипѣнія повышается или понижается. Слѣдующая табличка содержитъ числа, показывающія точку кипѣнія нѣкоторыхъ жидкостей:

Сѣрный эфиръ ...	34°,9	Скипидаръ	157°
Фосфоръ	290°	Сѣрная кислота ...	298°
Ртуть	354°	Сѣра	420°–440°

Увеличеніе давленія на кипящія жидкости вліяетъ различнымъ образомъ на температуру

образующихся паровъ, но законы не только такого сравнительнаго вліянія, но даже вліянія на какую нибудь жидкость положительно не извѣстны. Вслѣдствіе вліянія давленія на точку кипѣнія, жидкости могутъ кипѣть какъ при весьма низкихъ, такъ и при весьма высокихъ температурахъ, напр. вода можетъ кипѣть при температурѣ, близкой къ 0° и при 200°. Можно было бы получить еще высшую точку кипѣнія, если бы упругость паровъ, возрастающая съ температурою, не затрудняла подобные опыты, требуя сосудовъ чрезвычайно толстыхъ и крѣпкихъ. Съ другой стороны, выкачивая хорошимъ насосомъ воздухъ и пары изъ сосуда съ водою и заставляя проходить образующіеся при этомъ пары черезъ свинцовый сосудъ, содержащій крѣпкую сѣрную кислоту и находящійся между насосомъ и сосудомъ, содержащимъ воду, можно видѣть, какъ, вслѣдствіе охлажденія, производимаго испареніемъ, температура доходитъ до 0° и какъ въ одно и то же время кипитъ вода и образуется ледъ. Растворъ какой бы то ни было соли въ водѣ кипитъ при нормальномъ давленіи выше, чѣмъ при 100°; ненасыщенный растворъ закипаетъ при извѣстной температурѣ, которая мало по малу повышается и дѣлается

постояннаго только тогда, когда растворъ, потерявъ часть воды въ видѣ паровъ, сдѣлается насыщеннымъ. Изъ 17 растворовъ, испытанныхъ Леграномъ, самая высшая точка кипѣнія принадлежитъ хлористому кальцію, котораго 325 частей соединены были съ 100 частями воды; точка кипѣнія была 179°,5.

Растворяя одну и ту же соль, находятъ, что точка кипѣнія раствора всегда повышается съ увеличеніемъ количества растворенной соли; но, растворяя различныя соли, можно видѣть, что нерѣдко высшая точка кипѣнія принадлежитъ раствору той соли, которой нужно меньшее вѣсовое количество для насыщенія ста частей воды.

Если налить въ сосудъ двѣ несмѣшивающіяся жидкости и нагрѣвать ихъ, то кипѣніе начинается при температурѣ, которая ниже температуры легче кипящей жидкости; напр., точка кипѣнія сѣрнистаго углерода 46°,6, а смѣсь его съ водою кипитъ при 42°,6. Можно также нагрѣть отдѣльно каждую изъ жидкостей до температуры низшей, чѣмъ 46°,6, напр. до 45° и потомъ смѣшать обѣ жидкости; тогда начинается кипѣніе. Опыты въ этой формѣ были сдѣланы Кундтомъ.

Печат. Лист.: Профессоръ: А. Петрушевскій

Скрытая теплота испаренія.

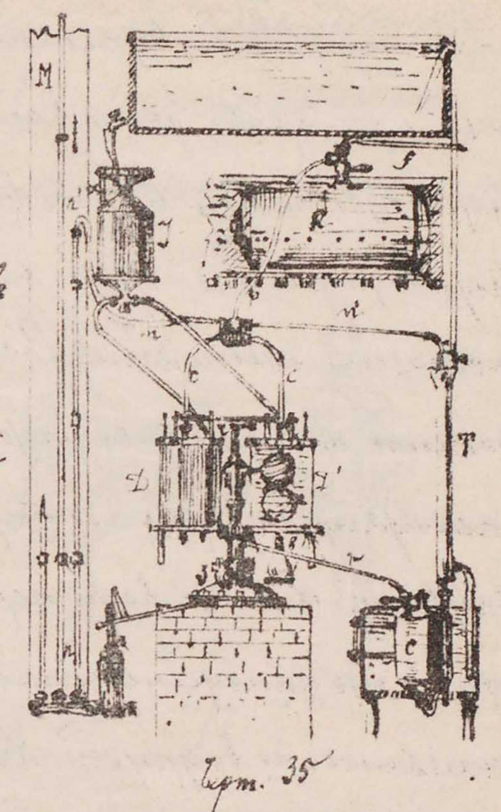
Жидкое состояніе для многихъ тѣлъ не есть самостоятельное, т.е. эти тѣла не могутъ оставаться жидкими иначе, какъ будучи окружены атмосферою собственныхъ паровъ, имѣющихъ извѣстную упругость, зависящую отъ температуры окружающаго пространства. Если представимъ себѣ жидкое тѣло въ пустомъ пространствѣ, то должно допустить, что внутреннія силы жидкости производятъ близъ ея поверхности окончательное физическое разъединеніе частицъ тѣла, обращая его въ паръ. Если пространство, окружающее жидкость, не безгранично, то внутренняя работа разъединенія прекращается, коль скоро пространство наполнится парами опредѣленной упругости, т.е. когда въ опредѣленномъ количествѣ жидкости будетъ произведено полное физическое разъединеніе. Температура жидкости, вслѣдствіе совершенной работы, понижается; объемъ жидкости уменьшается, какъ отъ этого обстоятельства, такъ и отъ того, что часть жидкости обратилась въ пары. Если же тѣло будетъ удерживаемо постоянно при одной и той же температурѣ, то количество теплоты, переданное тѣ-

му извнѣ во время испаренія, должно быть эквивалентно той работѣ, которую произвели внутреннія силы тѣла, обращая его въ пары. Температура жидкости и паровъ при такихъ обстоятельствахъ остается неизмѣнного, поэтому теплота испаренія была названа скрытого теплотою. Всего обыкновеннѣе тотъ случай, когда вода, приведенная въ кипѣніе, остается при постоянной температурѣ, какъ бы сильно ни нагрѣвали сосудъ съ водою, только чѣмъ выше температура нагрѣвающаго источника, тѣмъ скорѣе совершается работа обращенія жидкости въ пары.

Если жидкое тѣло окружено атмосферою, которой составъ отличается отъ состава самого тѣла, то и въ этомъ случаѣ оно не можетъ оставаться безъ измѣненія. Вода испаряется въ атмосферѣ воздуха въ такомъ же количествѣ, какъ и въ пустомъ пространствѣ, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ; единственное различіе обоихъ случаевъ испаренія состоитъ въ томъ, что въ воздухѣ оно совершается медленно, тогда какъ въ пустомъ пространствѣ пары образуются въ такой малый промежутокъ времени, который до сихъ поръ не былъ опредѣленъ. Нѣкото-

рыя наблюденія Реньо какъ будто даютъ поводъ думать, что упругость паровъ въ воздухѣ меньше, чѣмъ въ безвоздушномъ пространствѣ, но разности между обѣими величинами такъ малы, что не могутъ имѣть вліянія на общее заключеніе. Первыя попытки опредѣленія скрытой теплоты испаренія воды принадлежатъ Блэку; но его способы наблюденія, также какъ и позднѣйшіе опыты Уатта, были недостаточно точны. Румфордъ придумалъ способъ наблюденія, употребляемый и понынѣ наблюдателями съ нѣкоторыми измѣненіями въ частностяхъ, а именно: онъ охлаждалъ пары испытываемой жидкости въ змѣевикѣ калориметра. Депре, наблюдая по этой методѣ, допускалъ, что количество теплоты, выдѣленной парами при охлажденіи, равно тому количеству теплоты, которое нужно было для образованія ихъ, — нашелъ, что скрытая теплота паровъ воды составляетъ 540 единицъ теплоты, т. е., для произведенія работы окончательнаго физическаго разъединенія нужно такое количество теплоты, какое достаточно для повышенія температуры 540 килограммовъ воды на 1°. Наиболѣе точныхъ результатовъ въ этомъ достигъ Реньо; его приборъ изображается на черт. 35. Вода, приводимая въ кипѣніе, въ количествѣ

около 150 литровъ, находилась въ котлѣ V, вмазанномъ въ печь; пары изъ котла проходили по трубкѣ и черезъ кранъ ч въ одинъ изъ двухъ калориметровъ D и D' вмѣщавшихъ до 60 литровъ воды каждый. Калориметры находились въ сообщеніи съ железнымъ резервуаромъ R и трубнаго манометра KM посредствомъ соединительныхъ

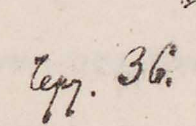


Чрт. 35

трубокъ ее, т, р.... Железный цилиндръ R, 600 литровъ емкости, содержалъ въ себѣ воздухъ, нагнетаемый въ него сгустительными насосами, къ которымъ велъ трубка f. Упругость этого воздуха была измѣряема высотою ртути въ манометрѣ M; для удержанія постоянства температуры резервуара R онъ былъ погруженъ въ воду. Кипѣніе въ котлѣ происходило лишь тогда, когда упругость образовавшихся паровъ дѣлалась при достаточномъ повышеніи температуры равною упругости воздуха въ резервуарѣ R. Такимъ образомъ манометръ показывалъ одновременно упругость воздуха и паровъ, во всѣхъ сообщающихся частяхъ прибора одинаковую. Температура же паровъ была наблю-

даны на термометрахъ, помѣщенныхъ въ желѣзныхъ трубкахъ, вставленныхъ въ котелъ V. Такое устройство приборовъ дало возможность измѣрить скрытую теплоту паровъ въ зависимости отъ температуры, при которой переходитъ жидкость въ парообразное состоянiе. Сосудъ Г содержитъ въ себѣ извѣстное количество воды, наполняющее его до уровня, проходящаго черезъ черту, проведенную на стеклянной трубочкѣ а. Эта вода передъ опытомъ перевѣшивалась въ одинъ изъ калориметровъ D, D'; такое же количество наливалось и въ другой. Каждый калориметръ былъ снабжёнъ термометромъ, на которомъ можно было наблюдать сотыя доли градуса. Металлическiй сосудъ С назначенъ для принятiя и охлажденiя избытка пара, который могъ бы выйти еще неохлажденнымъ изъ калориметра; F есть широкая трубка, черезъ которую протекаетъ вода, постоянно охлаждающая трубку m', соединяющую резервуаръ С съ другими частями прибора. Калориметры D, D', состоятъ каждый изъ двухъ соединенныхъ между собою шаровъ, около которыхъ обходитъ нѣсколько разъ мѣдный змѣевикъ, сообщающiйся однимъ концомъ съ нижнимъ шаромъ, а другимъ съ трубкой С или С'. Вода образовавшаяся изъ паровъ, собираясь въ нижнемъ шарѣ; ее вытекали въ стеклянную колбу b, которую по

томъ взвѣшивали. Разность наблюденнаго вѣса и вѣса пустой колбы представляла вѣсъ пара, перешедшаго въ жидкое состояніе. — Черт. 36 изображаетъ кранъ r въ двухъ различныхъ положеніяхъ. Изъ паровика паръ идетъ по трубкѣ O, окруженной другою трубкою m n, также содержащею паръ; такимъ образомъ паръ въ трубкѣ O предохраненъ отъ охлажденія. Затѣмъ паръ входитъ въ металлическую коробку, содержащую


Черт. 36.

въ себѣ полый конусъ e, который можетъ посредствомъ боковаго отверстія сообщаться съ трубкой c или c'; эти трубки ведутъ въ верхніе шары калориметровъ. Поворачивая кранъ посредствомъ стержня r r', наблюдатель можетъ употреблять поочередно оба калориметра. За нѣсколько часовъ передъ началомъ опыта разводятъ огонь подъ котломъ; когда пары готовы, ихъ пропускаютъ по особенной трубкѣ v въ цилиндръ C (черт. 35), гдѣ они сгущаются. Эту перегонку надо производить часа полтора или два, чтобы всѣ стѣнки, подставки и приборы пріобрѣли нѣкоторую постоянную температуру. Затѣмъ, закрывъ кранъ

при C, направляютъ пары въ одинъ изъ калориметровъ и дѣлаютъ наблюденія манометра и термометровъ, какъ обыкновенно, перемѣшивая воду въ калориметрѣ мѣшалкою.

Если назовемъ черезъ p вѣсъ паровъ, обратившихся въ жидкость, и черезъ P — вѣсъ воды въ калориметрѣ плюс вѣсъ самаго калориметра, умноженный на его теплоемкость; далѣе, если $t°$ и $\theta°$ будутъ начальная и окончательная температура воды калориметра, $T°$ — температура пара при вступленіи его въ калориметръ и x — скрытая теплота пара, то можемъ составить слѣдующее уравненіе:

$$px + p(T - \theta) = P(\theta - t)$$

Первый членъ есть количество скрытой теплоты, отдѣляющейся при переходѣ пара въ жидкое состояніе при температурѣ $T°$; второй членъ изображаетъ количество теплоты, отданной калориметру вновь образовавшейся водою, а вторая часть уравненія представляетъ количество теплоты, принятой калориметромъ. Вѣсъ одного мѣднаго калориметра со змѣевикомъ и мѣшалкою составля-

15615 граммовъ; вѣсъ другого — 15542 грамма. Умножая эти числа на 0,0951 (теплоемкость мѣди), получимъ 1482,8 гр. и 1457,7 грамма. Вѣсъ воды

въ калориметръ въ одномъ рядѣ опытовъ составлялъ 65039,4 грамма при 12°,06 и въ другомъ рядѣ - 65046,3 грамма при 12°.

Оба калориметра, какъ было сказано, наполнены водою, но паръ пропускается только черезъ одинъ; это продолжаютъ столько времени, сколько нужно для возвышенія температуры калориметра на желаемое число градусовъ, и затѣмъ прекращаютъ доступъ пара. Минуты двѣ послѣ того, показанія термометра, медленно возвышающіяся, дѣлаются на короткое время постоянными и затѣмъ понижаются. Поправки на потерю теплоты калориметромъ опредѣляются изъ наблюденій надъ калориметромъ, черезъ который не проходитъ паръ.

Для упругостей меньшихъ, чѣмъ атмосфера, служилъ тотъ же приборъ, но, кромѣ того, Реньо употреблялъ для этой цѣли другой способъ. Онъ помѣстилъ 5 граммовъ воды въ небольшомъ кольцеобразномъ металлическомъ сосудѣ, который былъ погруженъ въ небольшой калориметръ, наполненный водою, и соединилъ эту внутреннюю часть трубкою со стклянкою, содержащею воздухъ и погруженною въ охладительную смѣсь. Если разрѣжать насосомъ воз-

феръ въ стклянкѣ, то начинается перегонка 6 граммовъ воды, причемъ можно поддерживать давленіе постояннымъ, наблюдая манометръ. Термометръ, погруженный въ калориметръ, показываетъ пониженіе температуры, пока не испарятся всѣ 6 граммовъ воды; тогда пониженіе термометра останавливается, и вскорѣ начинается его повышеніе. На основаніи этихъ опытовъ можно опредѣлить все количество теплоты, необходимой для испаренія 6 граммовъ воды при различныхъ весьма слабыхъ давленіяхъ. Результаты многочисленныхъ опытовъ Реньо надъ скрытою теплотою при малыхъ и большихъ давленіяхъ выражены имъ въ слѣдующей эмпирической формулѣ: $L=606,5+0,305t$, въ которой L означаетъ все количество теплоты, нужное для нагрѣванія вѣсовой единицы воды отъ $0°$ до $t°$ и для обращенія ея въ паръ при этой температурѣ. Собственно скрытая теплота испаренія опредѣляется посредствомъ вычитанія t изъ L:

$$l = L - t = 606,5 - 0,695t \ldots\ldots (A)$$

Формула Реньо показываетъ, что скрытая теплота паровъ уменьшается съ температурой.—

Критическая температура и критическое состояніе.

Если мы возьмемъ открытый сосудъ съ жидкостью и станемъ его нагрѣвать, то жидкость начинаетъ понемногу испаряться и, наконецъ, можетъ вся улетучиться. Не то будетъ, если мы станемъ нагрѣвать жидкость въ закрытомъ герметически сосудѣ. Тогда появившіеся сначала пары увеличатъ упругость газа надъ жидкостью и кипѣніе прекратится до тѣхъ поръ, пока притокъ тепла не нагрѣетъ жидкость настолько, что упругость вновь образовавшихся паровъ будетъ равна давленію на жидкость; тогда вновь образовавшіеся пары усилятъ давленіе на жидкость, опять прекратится кипѣніе и т. д. - Такимъ образомъ, съ возрастаніемъ температуры будетъ возрастать количество и упругость паровъ въ замкнутомъ сосудѣ. Наконецъ, при извѣстной температурѣ вся жидкость можетъ перейти въ парообразное состояніе. Этотъ переходъ характеризуется тѣмъ, что при наступленіи его въ жидкости появляются восходящія и нисходящія теченія и движенія, подобныя тѣмъ, какія бываютъ при смѣшеніи двухъ смѣшивающихся жидкостей (напр., спирта и воды) и вся жидкость мутится.

При небольшомъ возвышеніи температуры сосудъ снова дѣлается прозрачнымъ, но жидкости не видно, потому

что она обратилась въ паръ; при пониженіи температуры, наоборотъ, часть вещества опять возвращается въ жидкое состояніе. Такое явленіе возможно лишь въ случаѣ, что стѣнки сосуда въ состояніи выдержать давленіе газовъ, достигающее очень большой величины. Каньяръ Латуръ первый наблюдалъ внезапное обращеніе воды въ паръ и обратное явленіе; вода была заключена въ толстостѣнной трубкѣ съ малымъ внутреннимъ діаметромъ.

Такимъ образомъ жидкости могутъ быть наблюдаемы въ состояніяхъ, при которыхъ онѣ по плотности не отличаются отъ паровъ, причемъ переходъ отъ одного состоянія къ другому совершается безъ видимыхъ рѣзкихъ измѣненій, а какъ бы непрерывно. Такой переходъ не будетъ представлять испаренія въ настоящемъ смыслѣ этого слова и слѣдовательно будетъ достигнутъ высшій предѣлъ испаренія. Это состояніе жидкости называется критическимъ, а температура, при которой жидкость достигаетъ критическаго состоянія, носитъ названіе критической температуры. Остановимся на углекислотѣ, относительно которой имѣются полныя данныя, добытыя Эндрьюсомъ (Andrews). Углекислота, взятая при +13,1° C. начинаетъ сгущаться въ жидкость, при давленіяхъ около 49 атмосферъ. Смотря по объему, къ которому ее приводятъ при сжиманіи, большая или меньшая часть ея обращается въ жидкость, которая при этомъ пред-

являются на поверхности вогнутый мениск, подоб-
ный тому, который наблюдается на поверхности во-
ды въ стеклянной трубкѣ, и это продолжается до
тѣхъ поръ, пока весь газъ не обратится въ жидкость.

При указанной температурѣ объемы, занимаемые газообразною и жидкою углекислотой при одномъ и томъ же давленіи на нихъ, значительно отличаются одинъ отъ другого, такъ что переходъ отъ одного состоянія къ другому сопровождается быстрымъ и значительнымъ уменьшеніемъ объема въ 6-7 разъ. Когда углекислота взята при температурѣ 21,°5, то сгущеніе ея начинается только при давленіи около 61 атмосферъ, и жидкая углекислота занимаетъ около трети объема, занимаемаго ею въ состояніи насыщеннаго пара при этомъ же давленіи, такимъ образомъ, уменьшеніе объема при сгущеніи углекислоты, имѣющей 21,°5, гораздо меньше, чѣмъ при 13,°1, изъ чего мы заключаемъ, что испареніе жидкой углекислоты при послѣднихъ условіяхъ сопровождается сравнительно меньшимъ уменьшеніемъ плотности, чѣмъ при 13,°1 и 49 атмосферахъ. При дальнѣйшемъ повышеніи температуры до 31,°1 и давленіи до 75 атмосферъ, измѣненія объема, совершающагося при постоянномъ давленіи, какъ это имѣетъ мѣсто при сгу

жденіи паровъ, уже вовсе не наблюдается, а только сжиманіе вблизи указанныхъ предѣловъ давленій идетъ нѣсколько быстрѣе, чѣмъ при давленіяхъ меньшихъ 73 атмосферъ; кромѣ того, границы между газомъ и жидкостью при этой температурѣ мы не различаемъ, такъ какъ онѣ не отличаются по плотности и по показателю преломленія, но можемъ лишь видѣть, при небольшихъ измѣненіяхъ температуры или давленія, струйчатыя движенія, подобныя тѣмъ, которыя наблюдаются при смѣшеніи сахарнаго сиропа съ водою; отъ этихъ движеній содержимое въ трубкѣ мутится, переходя при повышеніи температуры и пониженіи давленія изъ жидкаго въ газообразное состояніе, а при пониженіи температуры или повышеніи давленія — изъ газообразнаго состоянія въ жидкое. Въ томъ и другомъ состояніи паръ и жидкость занимаютъ одинаковый объемъ, и испареніе, слѣдовательно, не сопровождается измѣненіемъ плотности. Этимъ и опредѣляется критическое состояніе тѣла, которое для углекислоты по Андрюсу соотвѣтствуетъ 31°,92 С. и 73 атмосф. давленія. При дальнѣйшемъ повышеніи температуры сжиженіе углекислоты уже вовсе не происходитъ ни при какихъ давленіяхъ, хотя при изученіи хода измѣненія ея объема съ измѣненіемъ давленія на нее, наблюдается нѣкоторое ускореніе сжиманія при томъ объемѣ ея при которомъ мы могли бы ожидать начала сжиженія ея, но это измѣненіе закона сжимаемости

мало по малу ослабѣваетъ при повышеніи температуры и наконецъ совершенно исчезаетъ при 48,7.
Такимъ образомъ углекислота можетъ быть приведена въ жидкое состояніе только при температурахъ низшихъ 32°, при температурахъ высшихъ она уже представляется постояннымъ газомъ, хотя законъ ея сжимаемости еще значительно отличается отъ закона Маріотта въ смыслѣ большей сжимаемости и это продолжается до тѣхъ поръ пока температура ея не станетъ значительно выше 31°,92. При этой же температурѣ она обращается въ паръ, подъ какимъ бы давленіемъ она ни находилась, почему проф. Менделѣевъ и назвалъ ее температурою абсолютнаго кипѣнія. Совершенно аналогичныя явленія представляютъ другія жидкости, когда ихъ нагрѣваютъ въ закрытомъ и не содержащемъ другого тѣла пространствѣ. Профессоръ Авенаріусъ также произвелъ много изслѣдованіи относительно критическаго состоянія нѣкоторыхъ жидкостей.
Изъ всѣхъ опытовъ слѣдуетъ, что критическая температура, выше которой газъ или паръ не можетъ быть превращенъ въ жидкость никакимъ давленіемъ. Кромѣ того критическому состоянію тѣла соотвѣтствуетъ опредѣленное давленіе, которое также называется критическимъ.
Критическому состоянію тѣла соотвѣтствуетъ не только опредѣленная температура, но и опредѣленный объемъ, который характеризуется тѣмъ, что жидкость занимающая критическій объемъ, при критической температурѣ

представляется однороднаго во всей массѣ, переходя изъ жидкаго состоянія въ парообразное и наоборотъ, при небольшомъ нагрѣваніи или охлажденіи, и становясь на нѣсколько секундъ мутною во всей массѣ. Если бы мы заключили жидкость въ объемъ, меньшій ея критическаго объема, то при нагрѣваніи ея, она наполнила бы въ видѣ жидкости все пространство еще до наступленія критической температуры; если, наоборотъ, объемъ сосуда больше критическаго, то при нагрѣваніи вся жидкость обратится въ паръ еще до наступленія критической температуры, и въ обоихъ случаяхъ при переходѣ черезъ критическую температуру, вся масса въ сосудѣ будетъ однородною въ видѣ жидкости или въ видѣ пара.

Явленіе критической температуры позволяетъ намъ указать на существенную разницу между газомъ и паромъ. Жидкость образуетъ паръ, пока она не достигла критической температуры; вотъ почему всякій паръ можно превратить въ жидкость однимъ давленіемъ. Выше критической температуры жидкость даетъ газъ, который не можетъ снова быть превращенъ въ жидкость однимъ давленіемъ, если не понизить температуры. Вѣчный газъ, обратно, есть не что иное, какъ жидкость, перешедшая за температуру абсолютнаго кипѣнія. Вотъ критическія температуры и давленія нѣкоторыхъ тѣлъ:

Тѣла	Критическія температуры	Критическія давленія
Углекислота	31,9	77
Закись азота	35	45,2
Ацетиленъ	37	68
Хлорист.-водородн. кислота	52,3	86
Сѣрнистый водородъ	100,2	92
Синеродъ	124	61,7
Аммiакъ	130	115
Хлоръ	141	83,9
Сѣрнистая кислота	151,4	78,9
Хлористый этилъ	189,9	52,6
Эфиръ	192,6	36,9
Метиловый спиртъ	232,76	72,85
Алкоголь	234,3	62,1
Хлороформъ	260	54,9
Сѣрнистый углеродъ	271,8	74,7
Бензинъ	280,6	49,5

Указанныя выше изслѣдованія Андрюса показали, что при опытахъ надъ сжиженіемъ постоянныхъ газовъ, существеннымъ факторомъ представляется пониженіе температуры тѣла, и что неудача опытовъ Натерера, при которыхъ газы подвергались давленію до 2800 атмосферъ, можетъ быть приписана тому, что газы находились при температурахъ выше ихъ критическихъ, при чемъ они ни при какихъ давленіяхъ не могутъ обратиться въ жидкое состояніе. Такимъ образомъ снова обрати-

ніе къ тому пріему совмѣстнаго охлажденія и сжиманія газовъ, который былъ указанъ еще Фарадэемъ и при помощи котораго онъ свелъ уже давно число несжимаемыхъ газовъ до шести. Въ жидкомъ состояніи были получены кислородъ, окись углерода (Кальете) и водородъ (Пикте). Новѣйшіе опыты Врублевскаго и Ольшевскаго дали слѣдующія критическія температуры и давленія:

	Критическая темп.	давленія
Кислородъ	−112°	50
Азотъ	−146°	35
Окись углерода	− 73°	56,8

Упругость паровъ въ зависимости отъ теплоты.

Жидкость обращается въ пары не только при кипѣніи, но и при температурахъ гораздо низшихъ. Такъ пары воды имѣютъ упругость при 0°, измѣряемую 4,6^{mm} ртутнаго столба; упругость водяныхъ паровъ и при −10° составляетъ еще около 2^{mm}. Ге-Люссакъ нашелъ, что ледъ испаряется, и что его пары имѣютъ такую же упругость, какъ пары воды, охлажденные до той же температуры.

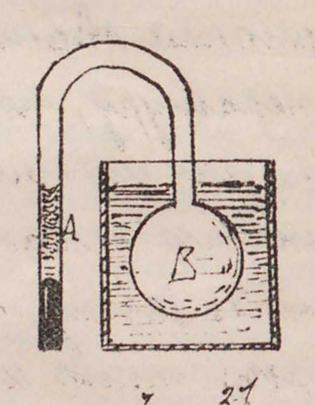
Если пустить каплю воды въ барометръ то она, достигнувъ Торичелліевой пустоты мгновенно обращается въ паръ; можетъ случиться, что часть воды останется на ртути, и это будетъ служить признакомъ, что пространство надъ ртутью насыще-

но паромъ. При этомъ ртуть въ барометрѣ понизится на величину, которая есть мѣра упругости образовавшагося пара. Употребляя сифонный барометръ, и отливая часть ртути изъ короткаго колѣна, увеличимъ этимъ емкость той части трубки, которая занята паромъ. Дѣлая при этомъ измѣренія, убѣдимся, что пары при расширеніи приблизительно слѣдуютъ закону Маріотта. Паръ въ этомъ случаѣ не насыщаетъ пространства; при обратномъ сжатіи его упругость увеличивается тоже по закону Маріотта. Коль скоро паръ достигнетъ насыщенія, то уменьшеніе объема, имъ занимаемаго, не увеличиваетъ его упругости, но сопровождается обращеніемъ части паровъ въ жидкость. Если, не измѣняя объема насыщеннаго пара, возвысить его температуру, то упругость пара увеличится и объемъ, занимаемый имъ, можетъ быть уменьшенъ до извѣстнаго предѣла, причемъ упругость его увеличивается по закону Маріотта. Этотъ паръ называется перегрѣтымъ и, какъ видно изъ сказаннаго, онъ имѣетъ свойства пара, ненасыщающаго пространства; при нагрѣваніи его при постоянномъ давленіи, паръ свободно расширяется. Коэффиціентъ расширенія паровъ и постоянныхъ газовъ одинъ и тотъ же, если паръ не находится далеко отъ точки насыщенія. Поэтому законы Ге-Люссака и Маріотта могутъ быть примѣнены къ парамъ съ извѣстнымъ ограниченіемъ, т.е. къ парамъ, отдаленнымъ отъ точки обращенія въ жидкость.

Упругость паровъ.

Для измѣренія упругости паровъ при температурѣ низшей, чѣмъ температура окружающаго воздуха, употребляется способъ Ге-Люссака. Для опытовъ служитъ барометрическая трубка, согнутая вверху; хорошо также, чтобы она имѣла на концѣ расширеніе или шарикъ (черт. 37). Она наполняется ртутью, какъ обыкновенный барометръ, и потомъ ставится вертикально, а шарикъ погружается въ холодную воду или охладительную смѣсь. Жидкость, впущенная въ барометръ, достигнувъ Торичеллієвой пустоты, какъ всегда, испаряется.

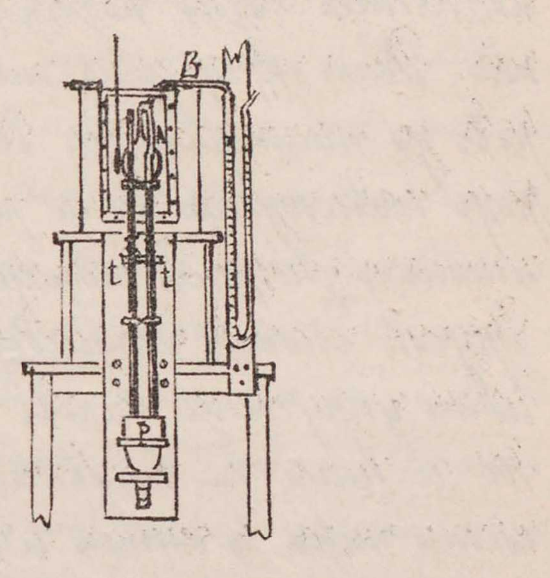
Пары насыщаютъ пространство въ первый моментъ, но въ шарикѣ В, гдѣ температура ниже, чѣмъ въ А, часть ихъ обращается въ жидкость, а упругость остальныхъ уменьшается. Отъ этого пары большей упругости расширяются, давленіе вездѣ уменьшается и въ А новое количество жидкости обращается въ паръ, часть кот-раго снова обращается въ жидкость; черезъ нѣсколько времени вся жидкость перейдетъ изъ А въ В, и остальная часть Торичеллієваго пространства будетъ занята паромъ, упругость котораго соотвѣтствуетъ температурѣ шарика В, слѣдовательно низшей температурѣ.



Черт. 37

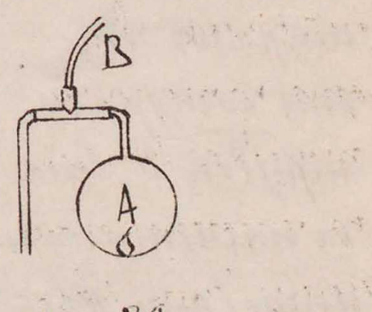
Для опредѣленія упругости паровъ при обыкновенныхъ температурахъ и нѣсколько высшихъ съ успѣхомъ служили приборы Реньо (черт. 38).

Два барометра, установленные рядомъ, погружены открытыми концами въ общую чашку P со ртутью. Одинъ изъ нихъ состоитъ изъ обыкновенной барометрической трубки t, другой t', согнутъ вверху и оканчивается шарикомъ A (черт. 39). Въ этотъ шарикъ кладется маленькій пузырекъ съ испытываемой жидкостью, и потомъ трубочка, идущая отъ шарика, вставляется и вклеивается въ оправу, которая трубкою B соединяется съ разрѣжающимъ насосомъ.



Черт. 38

Нѣсколько разъ впускается въ барометръ сухой воздухъ и разрѣжается и, когда воздухъ по возможности вытянутъ, соединительная трубка B запаивается. Упругость воздуха, оставшагося въ барометрѣ, измѣряется, а потомъ подогрѣвается шарикъ A; пузырекъ отъ этого лопается, а находившаяся въ немъ жидкость испаряется. Для возвышенія температуры пара верхняя часть обоихъ

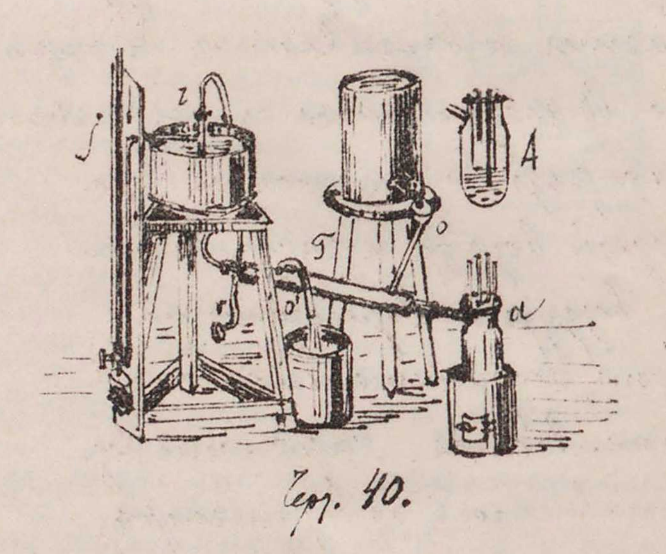


Черт. 39

барометровъ помѣщается въ металлическій ящикъ, сквозь дно котораго проходятъ обѣ трубки. Одинъ бокъ ящика — изъ стекла, сквозь которое наблюдаютъ высоту ртутнаго столба въ обоихъ барометрахъ; ящикъ наполняется водою, подогрѣваемою снизу спиртовой лампой. Реньо опредѣлялъ такимъ образомъ упругость паровъ до температуры 50°; при высшихъ температурахъ наблюденія были затруднительны по причинѣ сильнаго движенія подогрѣваемой воды.

Другой способъ и приборы Реньо, могущія опредѣлять упругость паровъ отъ температуры 50° до 100° и выше съ основаны были на равенствѣ упругости пара въ котлѣ и упругости воздуха въ резервуарѣ, соединенномъ съ котломъ (черт. 40).

Вода наливалась въ небольшой паровикъ a, соединенный съ металлическимъ шаромъ B, отъ котораго трубка V вела къ нагнетательному (или разрѣжающему



Черт. 40.

для температуръ ниже 100°) насосу. Другая трубка соединяла шаръ съ ртутнымъ манометромъ; жестяной сосудъ R, въ которомъ помѣщался шаръ

В, былъ наполненъ водою, служившею для удержанія температуры шара В постоянною. Изъ другого сосуда вода вытекала чрезъ воронку О въ трубку Г, служившую для охлажденія пара, выходящаго изъ паровика. Этотъ приборъ сходенъ съ описаннымъ выше въ статьѣ о скрытой теплотѣ. Наконецъ для весьма большихъ упругостей Реньо употреблялъ приборъ во всемъ сходный съ только что описаннымъ, но сдѣланный гораздо крѣпче, такъ что въ немъ можно было довести упругость паровъ до 28 атмосферъ. Малый манометръ былъ замѣненъ очень большимъ. Результаты своихъ опытовъ Реньо изобразилъ графически на большой мѣдной доскѣ, нанеся температуры на ось абсциссъ, и принимая упругость паровъ за ординаты. Онъ нанесъ на доску точки, результаты 232 наблюденій между 100° и 230° и потомъ провелъ чрезъ нихъ по возможности плавную кривую. Эти самые результаты очень точно выражаются эмпирической формулой, въ которой y означаетъ упругость пара въ миллиметрахъ при температурѣ $t°$; a, b, c, α, β, суть постоянные коэффиціенты:

$$\log y = a - b\alpha^{20+t} - c\beta^{20+t};$$

$$a = 6,2640348; \quad \log\alpha = \bar{1},99404929 2;$$

$$\log b = 0,1397743; \quad \log\beta = \bar{1},998343862$$

$$\log c = 0,6924351$$

Формулу такого вида первый предложилъ Біо. Замѣчательная также формула дана Рошомъ:

$$y = a.\alpha^{\frac{1+mt}{t}},$$

въ нее входятъ только три постоянныхъ a, α и m.
Реньо находилъ, что эта формула весьма хорошо выражаетъ результаты его собственныхъ наблюденій между широкими предѣлами; она можетъ быть также употреблена для вычисленія упругости паровъ алкоголя и эфира.

Араго и Дюлонгъ въ 1829 г. произвели большую работу для измѣренія упругости паровъ до 24 атмосферъ и приняли формулу:

$$y = (1 + 0,7153t)^5,$$

въ которой t — температура, считаемая отъ 100°; она положительна для высшихъ чиселъ и отрицательна для меньшихъ. Она хорошо выражаетъ результаты опыта для температуръ высшихъ 100°.

Формула Біо для температуръ отъ 0°–100° — слѣдующаго вида:

$$\log y = a + b\alpha^t - c\beta^t; \qquad a = 4,7384380;$$

$$\log \alpha = 0,006855036; \qquad \log b = \bar{2},1340339;$$

$$\log \beta = \bar{1},9967249; \qquad \log c = 0,6116485.$$

Еще есть формула Магнуса, которого опыты простирались до 111°

$$y = 4,525 \cdot 10^{\frac{7,4475t}{234,69+t}}$$

Для показанія, въ какой мѣрѣ формулы Біо съ тѣми постоянными, которыя опредѣлилъ Реньо, согласуются съ опытомъ, приводимъ нѣсколько чиселъ:

Температура −10; +20; +50; +110; +140;

Упруг. опред. граф. 2,08; 17,39; 91,98; 1073,7; 2713
Упругость вычислен. 1,97; 17,30; 92,02; 1075,36; 2717,63
Разность +0,11; +0,09; —0,04; —1,66; —4,63.

При высшихъ давленіяхъ разности доходятъ до 15 и одинъ разъ до 29^{mm} при общемъ давленіи 1166^{mm}; при давленіи 2015^{mm} разность = —11,38. Вообще согласіе съ видомъ кривой Реньо весьма удовлетворительно.

Разнообразіе этихъ формулъ показываетъ, что онѣ не выражаютъ собою законъ природы.

Упругость смѣшанныхъ паровъ.

Примѣняя законъ Дальтона, относящійся къ диффузіи газовъ, къ парамъ, происходящимъ отъ двухъ жидкостей, не смѣшивающихся между собою, надо ожидать, что общая упругость паровъ будетъ равна суммѣ отдѣльныхъ упругостей, соотвѣтствующихъ температурѣ опыта. Это заключеніе основано на томъ, что пары распространяются въ пространствѣ, содержащемъ другой газъ или паръ, такъ, какъ они распространялись бы въ пустомъ пространствѣ. Магнусъ и потомъ Реньо подтвердили вѣрность этого заключенія; такое явленіе представляютъ напр: вода и сѣрнистый углеродъ, вода и бензинъ, вода и хлористый углеродъ.

Если же испытуемыя жидкости взаимно растворяются, но не во всякомъ отношеніи, то пары ихъ при точкѣ насыщенія имѣютъ упругость почти

равную или низшую, чѣмъ упругость наиболѣе летучей жидкости. Такое явленіе представляетъ смѣшеніе эфира съ водою. Если, наконецъ, испытуемыя жидкости смѣшиваются во всѣхъ количествахъ между собой, то упругость ихъ паровъ при точкѣ насыщенія находится между обѣими упругостями, соотвѣтствующими температурѣ опыта, и тѣмъ ближе къ упругости паровъ одной изъ жидкостей, чѣмъ болѣе ея входитъ въ растворъ. Къ этому разряду относятся сѣрнистый углеродъ и эфиръ, сѣрнистый углеродъ и хлористый углеродъ. Смѣсь алкоголя и бензина представляетъ исключеніе, такъ упругость смѣшанныхъ паровъ превосходитъ упругость паровъ наиболѣе летучей жидкости, какъ это видно изъ слѣдующихъ чиселъ:

Температура	7°,22;	9°,98;	13°,11;	16°,05;	18°,59
Упруг. пара алкоголя	40,4 mm;	46,8;	54,4;	62,7;	71,0;
Упруг. пара бензина	20,1;	24,2;	29,2;	35,0;	41,0;
Упругость смѣшанныхъ паровъ	43,17;	50,22;	59,66;	69,43;	79,35.

Упругость паровъ въ газахъ.

Влажность.

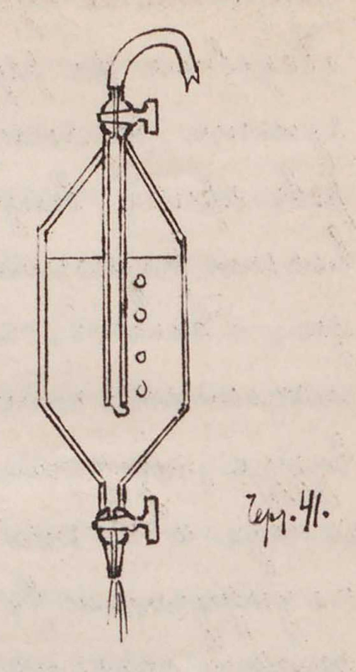
Опыты Реньо надъ образованіемъ паровъ воды, алкоголя, эфира въ воздухѣ и другихъ газахъ показали, что упругость въ безвоздушномъ пространствѣ всегда нѣсколько болѣе, чѣмъ въ газѣ. Помѣщаемъ нѣсколько чиселъ, показывающихъ упругость водяныхъ паровъ въ воздухѣ:

Температура	0°;	12°,48;	15°;	22°,12;	31°;
Упругость въ воздухѣ	4,47;	10,08;	12,38;	19,07;	32,97;

Упругость въ пустотѣ 4,60; 10,17; 12,70; 19,81; 33,41.
Подобные же результаты получены относительно упругости водяныхъ паровъ въ азотѣ. Упругости же паровъ эфира, бензина и сѣрнистаго углерода представляютъ разности значительно большія, чѣмъ пары воды. Реньо объясняетъ это различіе гигроскопичностью стеклянныхъ стѣнокъ сосуда; если уменьшить объемъ воздуха, содержащаго паръ, то на стѣнкахъ появляется вода и въ это время упругость газа въ воздухѣ равна его упругости въ пустомъ пространствѣ; тоже самое должно сказать о другихъ парахъ. Опредѣленіе количества паровъ, содержащихся въ воздухѣ, составляетъ практическій предметъ въ физикѣ и еще болѣе въ метеорологіи. Наилучшимъ способомъ считается непосредственное опредѣленіе вѣсового количества воды, образовавшейся отъ поглощенія паровъ изъ воздуха высушивающими веществами. Для опредѣленія вѣса воды въ опредѣленномъ объемѣ атмосфернаго воздуха, заставляютъ его пройти черезъ систему высушивающихъ трубокъ, которыя взвѣшиваются до начала и послѣ опыта. Эти трубки открыты однимъ концомъ въ атмосферу, другимъ же соединены съ верхней частью аспиратора, т. е. съ металлическимъ или инымъ сосудомъ съ водою, которую можно выпускать съ большею или меньшею быстротою черезъ трубочку въ днѣ сосуда (черт. 41)
Если емкость аспиратора при $0°$ — V_0, коэффиціентъ расширенія его — γ, то при $t°$ его емкость равна $V_0(1+\gamma t)$. Упругость же воздуха и паровъ въ немъ

равна упругости атмосферы.

Можно полагать на основании опытовъ, что при достаточно медленномъ истеченіи жидкости, напр. по одному литру въ полторы минуты, пузырьки воздуха, поднимающіеся изъ конца маріоттовой трубки въ аспираторъ будутъ насыщены парами. Называя соотвѣтственную упругость ихъ чрезъ h, а высоту барометра чрезъ B, получимъ упругость сухого воздуха $B-h$; объемъ сухого воздуха, наполнявшаго аспираторъ по приведеніи къ 0° будетъ:



Черт. 41.

$$\frac{v_0 (1+\gamma t)(B-h)}{(1+\alpha t) \,.\, B} \qquad (1)$$

Предполагая, что температура окружающаго воздуха есть T, мы получимъ слѣдующую величину дѣйствительнаго объема v_T воздуха при $T°$, къ которой относится опредѣляемое вѣсовое количество паровъ:

$$v_T = v_0 \frac{(1+\gamma t)(B-h)(1+\alpha T)}{(1+\alpha t) B} \qquad (2)$$

Обыкновенно не вся вода вытекаетъ изъ аспиратора; въ такомъ случаѣ надо взвѣсить вытекшую воду, предварительно защищенную по возможности отъ испаренія. По вѣсу воды опредѣляютъ объемъ ея. Если извѣстно изъ наблюденій количество паровъ, могущихъ насытить воздухъ при $T°$, то отношеніе наблюденнаго вѣса ко второму будетъ выражать влажность

воздуха во время наблюденія. Этотъ способъ называется нормальнымъ (иногда-химическимъ) и употребляется для провѣрки другихъ гигрометрическихъ способовъ, но практически его употребленіе требуетъ много времени.

Другой болѣе практическій, но менѣе точный методъ опредѣленія влажности состоитъ въ опредѣленіи такъ называемой точки росы, т.е. той температуры, при которой мало-по-малу охлаждаемый воздухъ, при неизмѣнномъ содержаніи паровъ, окажется насыщеннымъ. Положимъ начальная температура воздуха есть T, вѣсовое количество паровъ въ единицѣ объема есть P и упругость ихъ есть H; если полное количество паровъ, насыщающихъ единицу объема назвать черезъ P', а соотвѣтственную упругость черезъ H', то, очевидно, при одной и той же температурѣ упругости пропорціональны вѣсовымъ количествамъ, т.е.: $H : H' = P : P'$.

Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, что $P = 1/10\, P'$; изъ этого слѣдуетъ, что количество P можетъ насытить только одну десятую единицы объема. Но такъ какъ пары распространяются въ цѣломъ объемѣ, то, при допущеніи закона Маріотта, должны получить упругость въ 10 разъ меньшую прежней; т.е. $H = 1/10\, H'$. Поэтому какъ отношеніе упругостей, такъ и отношеніе вѣсовъ при одной и той же температурѣ выражаетъ влажность воздуха. Отношеніе же упругостей пара при различныхъ температурахъ

не равно отношенію вѣсовъ паровъ. Упругость H' паровъ, насыщающихъ воздухъ, можетъ быть найдена въ таблицахъ, упругость же H должна быть найдена изъ опыта. Для этого охлаждаютъ воздухъ до тѣхъ поръ, пока онъ не сдѣлается насыщеннымъ; получится упругость h равная H. Одинъ метръ сухого воздуха при 0° и при 760^{mm} давленія вѣситъ 1,293 грамма, а при температурѣ T вѣситъ $\frac{1,293}{1+\alpha T}$, поэтому V метровъ воздуха при упругости H и T° вѣсятъ:

$$\frac{1,293 . V . H}{(1+\alpha T)\, 760} \text{ грам.}$$

Вѣсъ паровъ P такой же упругости и объема, при той же температурѣ найдется, если помножить предыдущее число на удѣльный вѣсъ паровъ, который по Реньо равенъ 0,622.

$$P = \frac{1,293 . 0,622 . V . H}{760\,(1+\alpha T)} \qquad (1)$$

Вѣсъ P' паровъ, насыщающихъ пространство при той же температурѣ, причемъ предполагается упругость H' выразится такъ:

$$P' = \frac{1,293 . 0,622 . V . H'}{760\,(1+\alpha T)} \qquad (2)$$

При охлажденіи количество паровъ P остается то же самое, но оно содержится въ меньшемъ, нежели V, объемѣ, такъ какъ воздухъ сжимается при охлажденіи. Если охлажденіе доведено до температуры t°, при которой пары насыщаютъ воздухъ, то объемъ воздуха будетъ: $V . \frac{1+\alpha t}{1+\alpha T}$, слѣдовательно:

$$P = \frac{1,293 . 0,622 . v(1+\alpha t) . h}{(1+\alpha t).(1+\alpha T) 760} =$$

$$= \frac{1,293 . 0,622 v . h}{(1+\alpha T) 760} \quad (3)$$

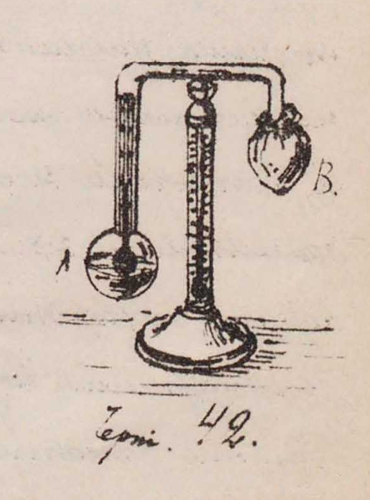
Изъ сравненія этого выраженія съ (1) видно, что $h = H$, слѣдовательно $h : H' = P : P'$ т.е. вѣса паровъ при сказанныхъ условіяхъ относятся какъ упругости, найденныя какъ выше показано.

Первая мысль о примѣненіи разсматриваемаго способа дѣйствительнымъ измѣреніямъ принадлежитъ Леруа.

Первый приборъ этой системы устроенъ Даніелемъ, но заключалъ въ себѣ нѣкоторыя практическія неудобства, которыя были устранены отчасти Деберейнеромъ, а потомъ Реньо.

Эти приборы называютъ гигрометрами.

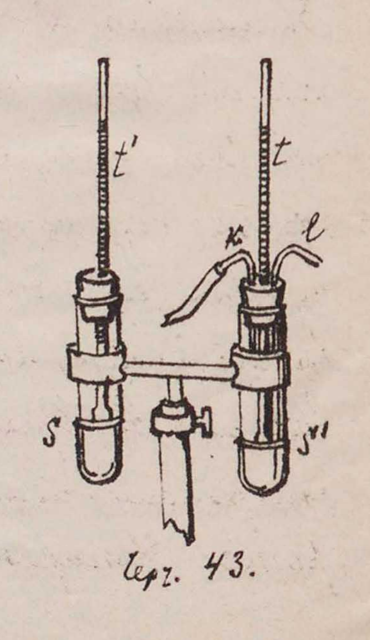
Гигрометръ Даніеля состоитъ изъ согнутой стеклянной трубки съ двумя шариками A и B по концамъ (черт. 42). Въ шарикѣ A находится жидкость, сѣрный эфиръ; въ другихъ частяхъ прибора находятся только пары эфира, воздухъ же разрѣженъ и трубка запаяна. Шарикъ B обвязанъ кисеею, постоянно смачиваемою во время наблюденія спиртомъ или сѣрнымъ эфиромъ. Испареніе этихъ жидкостей



черт. 42.

охлаждаетъ пары эфира внутри шарика В и такимъ образомъ происходитъ холодная перегонка эфира изъ шарика А въ В. Эфиръ въ шарикѣ А охлаждается, а термометръ, заключающійся внутри показываетъ температуру жидкости. Когда она достаточно охладится, тогда на шарикѣ начинаетъ осаждаться роса, т. е. вода, образующаяся изъ паровъ, содержащихся въ охлажденномъ слоѣ воздуха, прилежащаго къ шарику; другой термометръ, находящійся на подставкѣ прибора, показываетъ температуру воздуха, не прилежащаго къ шарику А. Приборъ Даніеля не удобенъ тѣмъ, что наблюдатель, который долженъ смачивать шарикъ В и взбалтывать жидкость въ А, нагрѣваетъ своею близостью весь приборъ.

Гигрометръ Реньо (черт 43), основанный на томъ же началѣ, состоитъ изъ двухъ серебряныхъ стаканчиковъ S и S', къ которымъ придѣланы стеклянныя трубки съ пробками, сквозь которыя пропущены термометры t и t' и трубки k и l. Короткая трубка k внутреннимъ концомъ открыта въ воздухъ, снаружи же сообщается съ аспираторомъ; другая трубка l опущена длинною частью въ стаканчикъ S', который наполняется алкоголемъ или эфиромъ, короткая часть находится въ сообщеніи съ наружнымъ воздухомъ. Когда хотятъ дѣлать наблюденіе точки росы, то понижаютъ тем-



Черт. 43.

пературу стаканчика б, отворяя верхній и нижній краны аспиратора; тогда вслѣдствіе вытеканія воды изъ аспиратора, вступаетъ чрезъ трубку l наружный воздухъ въ эфиръ и пузырьками подымается въ этой жидкости. Пузырьки унося часть эфира въ видѣ паровъ, перемѣшиваютъ и охлаждаютъ остальное; при достаточномъ пониженіи температуры тускнѣетъ полированная поверхность стаканчика б. Наблюденія производятся съ разстоянія въ нѣсколько шаговъ при помощи зрительной трубки; одновременно видна также поверхность стаканчика б, служащая для сравненія вида поверхностей, что облегчаетъ опредѣленіе точки росы. Лучше всего послѣ перваго опредѣленія прекратить или замедлить дѣйствіе аспиратора и наблюдать точку исчезанія росы; средняя между двумя соотвѣтственными температурами точнѣе опредѣляетъ точку росы, чѣмъ каждая изъ нихъ отдѣльно. Въ результатѣ наблюдатель узнаетъ температуру воздуха T и температуру точки росы t. Пары не насыщавшіе воздуха при T°, становятся насыщающими при t°. Количество паровъ или воды въ обоихъ случаяхъ одно и то же. Упругость же паровъ назовемъ въ двухъ случаяхъ чрезъ h и H; наконецъ упругость, соотвѣтствующая насыщенію при T°, обозначимъ чрезъ H_1, подобно прежнему.

Влажностью называется отношеніе $H : H_1$, а именно, называя чрезъ E влажность:

$$E = \frac{H}{H_1} \cdot 100.$$

Множитель 100 вводится для выраженія влажности въ процентахъ, принимая 100 за полную влажность или насыщенное состояніе. Было замѣчено, что и въ этомъ видѣ формула не строго вѣрна, но все же значительно исправляетъ результатъ простого отношенія упругостей, какъ видно изъ слѣдующихъ примѣровъ. Иногда влажность опредѣляется цѣлыми числами и десятыми долями процентовъ; но если наблюденіе точки росы содержитъ въ себѣ ошибку въ 0,2°, что нерѣдко можетъ случиться, то это имѣетъ вліяніе на десятыя доли процентовъ. Такъ напр: полагая температуру воздуха въ 25° и точку росы при 15°, имѣемъ $H : H' = 53,9\%$; полагая точку росы при 15°,2 получимъ $H : H' = 54,7\%$, слѣдовательно на 0,8% болѣе, чѣмъ въ 1^омъ^ случаѣ. Отсюда видно, что въ этихъ опредѣленіяхъ нельзя вообще надѣяться на вѣрность перваго десятичнаго знака.

Психрометръ.

Въ практикѣ чаще описаннаго прибора употребляется приборъ Августа, такъ называемый психрометръ. Этотъ приборъ (черт 44) состоитъ изъ двухъ ртутныхъ термометровъ, согласныхъ между собою до 0,1°, помѣщенныхъ на одномъ станкѣ, въ небольшомъ разстояніи одинъ отъ другого. Резервуаръ одного термометра обвязанъ кисеей, отъ которой проведенъ шнурокъ къ трубочкѣ А съ водою; шнурокъ смачивается и проводитъ жидкость къ кисеѣ. Вслѣдствіе испаренія воды на кисеѣ охлаждается шарикъ и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ быстрѣе происходитъ испареніе, т. е. чѣмъ менѣе вла-

жен воздух. Въ воздухѣ совершенно влажномъ вода не испаряется, и оба термометра показываютъ одну и ту же температуру. Если назвать температуру сухого термометра чрезъ t, а чрезъ t' температуру влажнаго термометра, также, если h есть упругость паровъ, насыщающихъ пространство при t', и давленіе атмосферы есть B, то упругость Y паровъ, дѣйствительно находящихся въ воздухѣ при температурѣ t во время наблюденія можетъ быть вычислена изъ слѣдующей формулы, выведенной Августомъ на основаніи теоретическихъ соображеній:

Чер. 44.

$$Y = h - aB(t - t'),$$

гдѣ a есть постоянная величина при извѣстныхъ обстоятельствахъ, но которой ариѳметическое значеніе не одинаково, какъ показываютъ опыты Реньо; если напр. психрометръ употребляется одинъ разъ въ комнатѣ, а другой разъ - въ полѣ - въ первомъ случаѣ $a = 0{,}00128$, а для второго случая $a = 0{,}00900$.

Если психрометръ находится въ сильномъ потокѣ воздуха, то температура влажнаго термометра понижается болѣе, чѣмъ въ спокойномъ воздухѣ, слѣдовательно вычисленіе покажетъ бо́льшую степень влажности, нежели есть на самомъ дѣлѣ. Психрометръ можетъ быть употребляемъ и при температурахъ ниже нуля, хотя смоченный шарикъ покрывает-

съ ледяною корой; значенie величины а для воздуха весьма влажнаго, почти вдвое болье, чьмъ для воздуха весьма сухого. Вообще по Реньо формула психрометра легко можетъ дать ошибку при опредъленiи влажности въ двъ или три сотыхъ всей величины. Впослъдствiи эти замъчанiя Реньо не въ пользу психрометра оказались преувеличенными.
Во всякомъ случаъ формула Августа должна быть разсматриваема, какъ эмпирическая; коэффицiенты ея должны быть найдены изъ нъсколькихъ опредъленiй влажности воздуха, сдъланныхъ химическимъ способомъ или гигрометромъ Реньо.

Способы и прiемы, которыми опредъленiя плотности пара производятся, были уже указаны въ „Тепловыхъ измъренiяхъ", и здъсь мы остановимся немного только на способъ Дюма.
Въ „Тепловыхъ измъренiяхъ" было указано производство самого опыта и выведена формула, выражающая плотность пара въ зависимости отъ температуры и давленiя окружающаго воздуха. Выведемъ теперь другую формулу, употребляющуюся въ практикъ, въ которой будетъ указано, какъ опредъляется плотность пара при помощи тъхъ взвъшиванiй, которыя мы производимъ. Для производства опыта взвъшивается шарикъ въ воздухъ; въсъ стекла безъ въса вытъсненнаго имъ воздуха уравновъшиваетъ въсомъ гирекъ безъ вытъсненнаго ими воздуха. Затъмъ взвъшиваемъ тотъ же ша-

рикъ, но наполненный изслѣдуемымъ парообразнымъ веществомъ при температурѣ T и давленіи H. Вѣсъ вещества наполняющаго шарикъ безъ вѣса равнаго объема воздуха при температурѣ t (комнатной) и давленіи барометра H уравновѣсится вѣсомъ гирь $q - q_0$ безъ вытѣсненнаго ими воздуха, что даетъ формулу:

$$V(X_{T.H} - p) = (q - q_0)\left(1 - \frac{p}{d}\right) \quad . \; . \quad (1)$$

Здѣсь $X_{T.H}$ плотность пара при температурѣ T и давленіи H, p - плотность воздуха при t и давленіи H, d-плотность вещества гирь. Наконецъ шарикъ наполняется водой и взвѣшивается. Вѣсъ воды безъ вѣса вытѣсненнаго воздуха уравновѣшивается вѣсомъ гирь $q' - q_0$ безъ вѣса вытѣсненнаго ими воздуха, что даетъ уравненіе:

$$V(\Delta_t - p) = (q' - q_0)\left(1 - \frac{p}{d}\right) \quad . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Раздѣливъ (1) на (2) и опредѣляя $X_{T.H}$ найдемъ:

$$X_{T.H} = \frac{q - q_0}{q' - q_0} \cdot (\Delta_t - p) + p \text{ или обозначая } \frac{q - q_0}{q' - q_0} = D \quad \ldots (3)$$

$$X_{T.H} = D - D(1 - \Delta_t) + p(1 - D)$$

Эта формула отличается точностью. Изъ нея получаютъ приближенныя, если пренебречь членами $D(1 - \Delta_t)$ т. е. D настолько малыми, что онѣ лежатъ внѣ предѣловъ опыта. Тогда получимъ: $X_{T.H} = \frac{q - q_0}{q' - q_0} + p \; \ldots (4)$

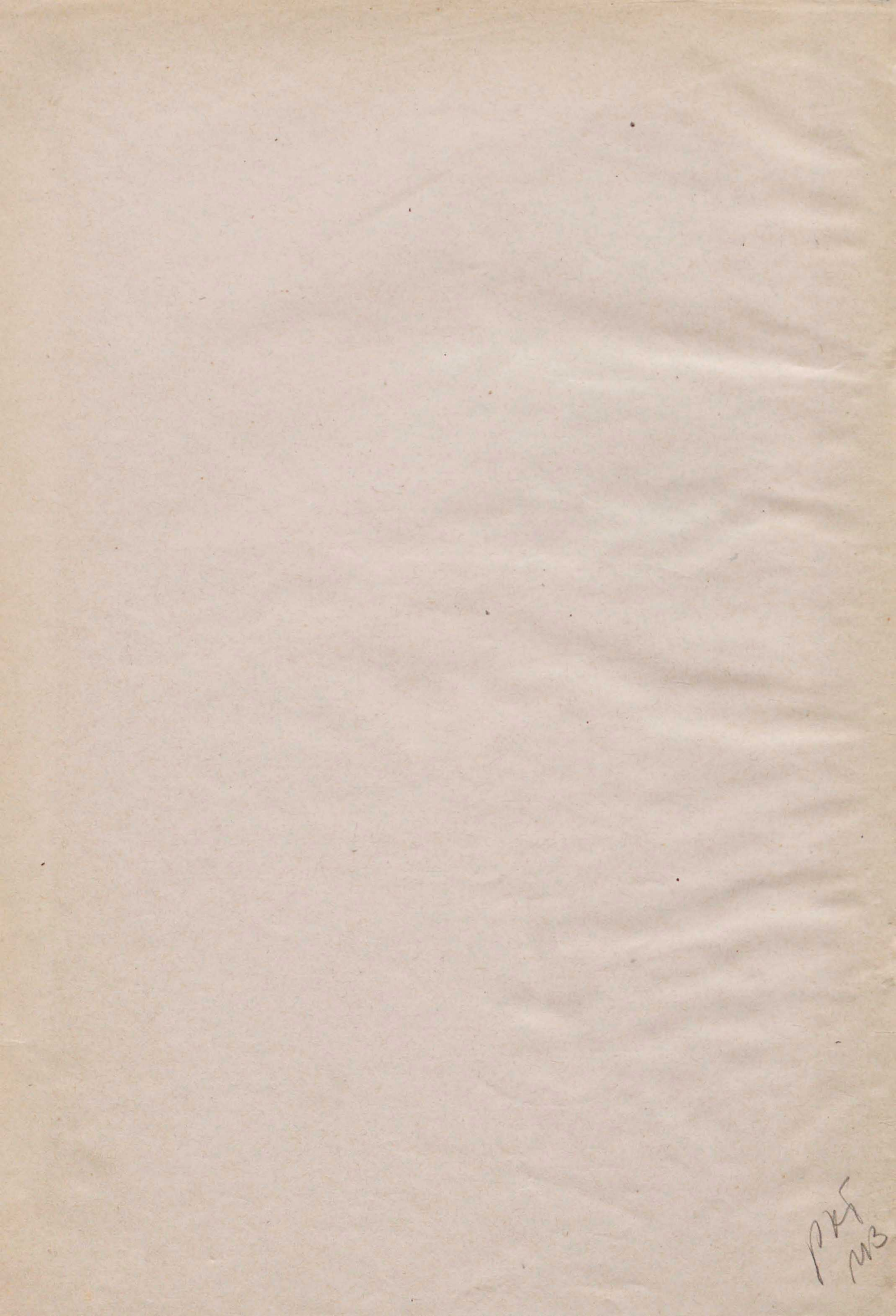
Чтобы получить плотность пара относительно воздуха, надо формулу (3) и (4) раздѣлить на $p_{T.H} = \frac{0{,}001293}{1 + 0{,}00367T} \cdot \frac{H}{760}$.

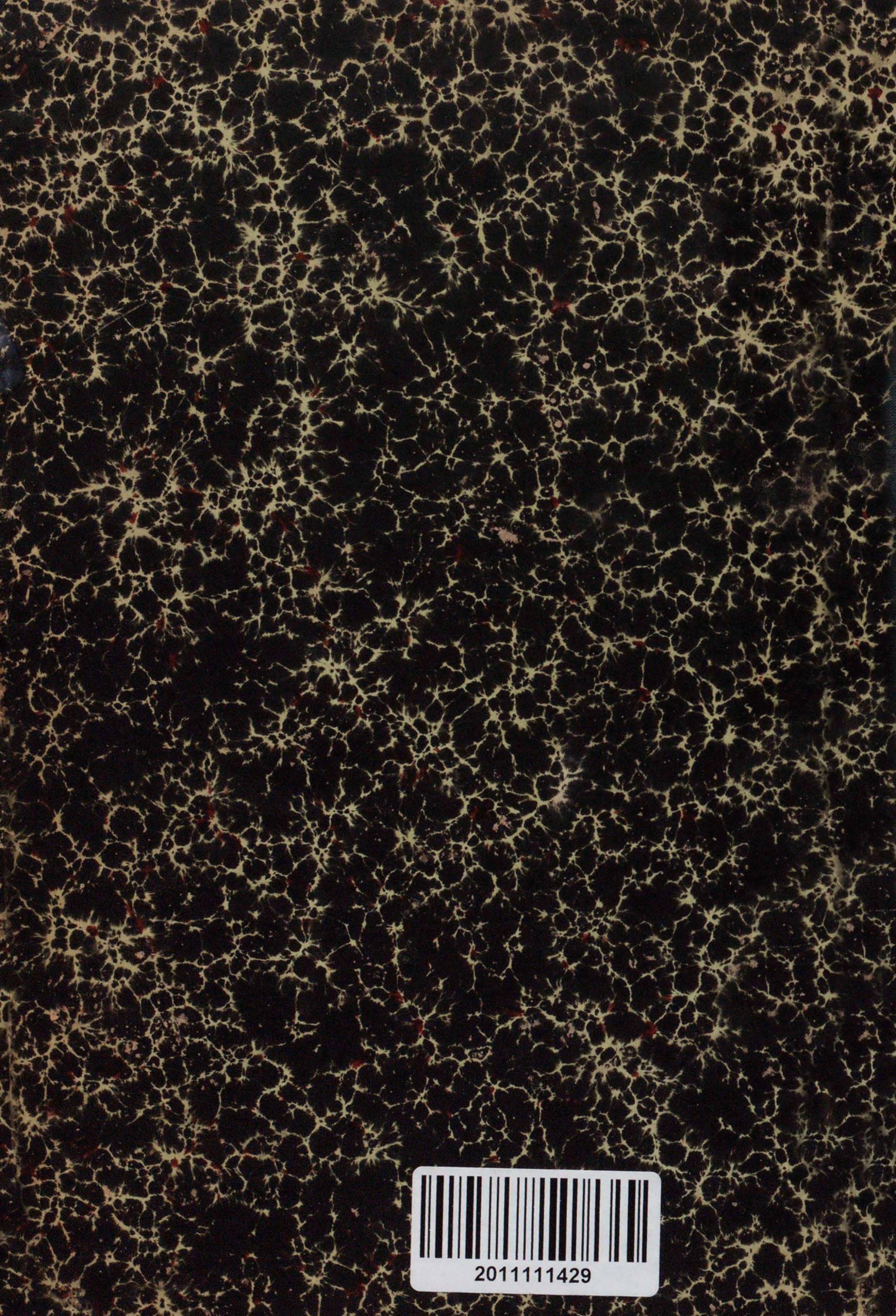
Конецъ.

Опечатки.

Теплота.

	Написано:	Читай:
Стр. 111, стр. 10 снизу	критическая температура	критическая температура пара или газа есть такая температура, выше которой и т. д.
Стр. 120, строка 6 снизу		$y = 4,525.10^{\frac{7,4475t}{234,69+t}}$.
Стр. 121, 7 стр. сверху	согласіе	согласіе формулы...
Стр. 122, 12 стр. сверху	такъ упругость..	такъ какъ упругость..
— 127, 8 стр. сверху	способа дѣйствительнымъ...	способа къ дѣйствительнымъ...




2011111429